



TITLE:

住宅における給湯用エネルギーの削減に関する研究(Dissertation_全文)

AUTHOR(S):

近藤, 修平

CITATION:

近藤, 修平. 住宅における給湯用エネルギーの削減に関する研究. 京都大学, 2011, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2011-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k16074>

RIGHT:

許諾条件により要旨・本文は2011-10-01に公開

住宅における給湯用エネルギーの削減に関する研究

平成23年2月

近藤修平

目 次

第 1 章	はじめに	1
1.1	研究の背景	1
1.2	既往の研究	1
1.2.1	住宅内のエネルギー消費の実態把握	1
1.2.2	住宅の給湯及び電力使用量の測定	2
1.2.3	給湯使用量の予測	2
1.2.4	給湯温度と室温・外気温度の関係	3
1.3	研究の目的	3
1.4	論文の概要	3
第 2 章	関西地区 13 軒の住宅におけるエネルギー消費実態把握	10
2.1	はじめに	10
2.2	調査の概要	10
2.3	使用エネルギーの用途別分解方法	13
2.3.1	ガス	13
2.3.2	灯油	13
2.3.3	電気	13
2.4	全エネルギー消費の概要	15
2.5	エネルギー消費分析	16
2.5.1	解析対象住宅	16
2.5.2	季節別・用途別のエネルギー消費	16
2.5.3	給湯及び暖房用のエネルギー消費	17
2.5.4	エネルギー消費量と光熱費の負担感	21
2.6	暖冷房以外の電力消費に対して在宅者のライフスタイルが及ぼす影響	22
2.6.1	はじめに	22
2.6.2	中間期（春・秋）における電力消費	23
2.6.3	電力多消費・電力少消費住宅の概要	23
2.6.4	電力消費の用途別分解	27
2.7	考察	40
2.7.1	給湯及び暖房用エネルギー消費の削減	41
2.7.2	暖冷房以外の電力消費に対して在宅者のライフスタイルが及ぼす影響	42
2.8	第 2 章のまとめ	44

第 3 章	住宅の給湯及び電力使用量の測定	49
3.1	はじめに	49
3.2	測定住宅の概要	49
3.3	ライフスタイルに関するアンケート調査	50
3.3.1	調査方法	50
3.3.2	調査結果	50
3.4	エネルギー消費量の測定	55
3.4.1	測定方法	55
3.4.2	測定温度の補正	58
3.4.3	給湯使用量の測定結果	59
3.4.4	電力使用量測定結果	72
3.5	考察	82
3.6	第 3 章のまとめ	83
第 4 章	給湯使用量予測	85
4.1	はじめに	85
4.2	生活スタイルを考慮した給湯使用量の積算開始時刻の設定	85
4.3	入浴習慣に基づく入浴パターンの分類	97
4.4	給湯使用量予測	102
4.4.1	はじめに	102
4.4.2	夜間は季節ごとに湯張り又はシャワー浴を主とした入浴を行い、日中の給湯使用に曜日依存性のない住宅	102
4.4.3	夜間は季節ごとに湯張り又はシャワー浴を主とした入浴を行い、日中の給湯使用に曜日依存性のある住宅	115
4.4.4	年間を通じてシャワー浴を基本とし、数日毎に湯張り入浴を行う住宅	127
4.5	考察	133
4.5.1	日積算給湯使用量の予測式について	133
4.5.2	本予測モデルの応用例	134
4.6	第 4 章のまとめ	136
第 5 章	給湯温度と室温・外気温度の関係	137
5.1	はじめに	137
5.1.1	解析の目的	137
5.1.2	測定データ分析方法	137
5.2	給湯温度と室温の季節変化	141
5.2.1	モニター 01 における給湯温度と室温の関係	141
5.2.2	モニター 06 における給湯温度と室温の関係	145
5.2.3	モニター 07 における給湯温度と室温の関係	150
5.2.4	モニター 08 における給湯温度と室温の関係	154
5.2.5	モニター 09 における給湯温度と室温の関係	158
5.2.6	モニター 10 における給湯温度と室温の関係	160

5.3	考察	163
5.3.1	冬期の温熱環境に不満がない住宅における給湯温度と室温の関係 . .	163
5.3.2	冬期の温熱環境に不満がある住宅における給湯温度と室温の関係 . .	163
5.3.3	給湯温度低下に伴う給湯消費量削減効果	164
5.4	第 5 章のまとめ	165
第 6 章 結言		167
本論文に関する発表		170
謝辞		174

第1章 はじめに

1.1 研究の背景

本論文では、住宅分野におけるエネルギー消費削減手法を対象とする。

京都議定書が2005年2月16日に発効し、わが国では、2008～2012年に1990年度におけるCO₂排出量の6%削減が求められている。さらに、2009年9月24日に行われた鳩山首相の国連における演説では、日本の2020年におけるCO₂排出量を25%削減（1990年比）することが表明された。

一方、2007年度部門別CO₂排出量の速報値¹⁾によると、家庭用部門では1990年度に較べて、41.2%（1990年度比）の増加となっている。増加する家庭部門のCO₂排出量削減が強く求められているが、家庭におけるエネルギー消費の実態はさまざまであり、一律の対策は難しい。この家庭部門におけるエネルギー消費削減のためには、住宅の断熱・気密化、暖冷房温度の適正化や効率の良い暖冷房機器の導入と共に、居住者の生活スタイル改善の重要性が指摘されている²⁾。

多様な形態をとる家庭用のエネルギー消費実態に関して、中村らは大規模なアンケート調査^{3, 4)}を行い、食後の団らん、在宅状況、入浴行為などによりエネルギー消費量に差が生じることを明らかにしている。ただ、エネルギー消費削減のために、居住者に大きな負担を与えるような生活スタイルの変更は受け入れられにくいと予想される。例えば、長谷川らの調査⁵⁾では、住宅で最もエネルギー消費が大きい給湯では、入浴回数を減らすなどの変更は居住者の協力が得られにくいことが報告されており、実効性があり持続的に協力可能なエネルギー削減手法の提案が必要となっている。

1.2 既往の研究

本節では、住宅内のエネルギー消費の実態把握調査、給湯使用実態調査、給湯負荷予測手法等に関する従来の研究についてレビューを行う。

1.2.1 住宅内のエネルギー消費の実態把握

住宅分野におけるエネルギー消費の実態を把握するために、これまで多くのエネルギー消費計測^{6, 7, 8, 9, 10, 11, 12)}が行われてきた。特に2002年より社団法人建築学会により行われた全国で80軒に関する住宅のエネルギー計測では、同時期に、同一の測定器で、世帯属性を揃えてエネルギー消費調査を行っている^{13, 14)}。これらのエネルギー消費調査により、住宅

におけるエネルギー消費の実態が明らかになり、住宅分野では給湯・照明等の使用がエネルギー消費の多くを占めることがわかった。

また、ライフスタイルとエネルギー消費の相関も多く調べられている。例えば、大和らの調査¹⁵⁾では、月別の電気及びガスの使用量とアンケート調査をもとに、意識・住まい方がエネルギー消費に与える影響をまとめている。前らの調査¹⁶⁾では、居住者の家族構成・生活スタイルをもとに属性を定め、その属性ごとにエネルギー消費の特徴をまとめている。吉永らの調査¹⁷⁾では、世帯構成や所有家電機器及び給湯器、電気・ガス・水道の月間使用量をもとに節約行動やエネルギー消費構造分析を行っている。

1.2.2 住宅の給湯及び電力使用量の測定

給湯使用の実態を把握するために、ガス給湯器におけるガス消費量や、給水・給湯温度・給湯量の測定が行われている^{18, 19, 20)}。また、電気ヒータ式給湯器や自然冷媒式ヒートポンプ(CO₂HP)などの電気を使用した給湯器の性能評価のために、給湯器に投入される電力量の測定も併せて行われている^{21, 22, 23)}。湯熱のみを発生させる給湯器に加えて、近年では、固体高分子型燃料電池(PEFC)に代表されるような、電気・熱を同時に発生させる分散型電源式給湯システムが登場しているが、分散型電源式給湯器では、給湯と電気の使用状況に性能が大きく左右される可能性^{24, 25)}がある。電気及び給湯の使用状況は居住者の生活状況により異なるが¹³⁾、室内外の温熱環境と電気・給湯使用量の実測、生活スタイルに関するアンケートの同時調査はあまり行われていない。

1.2.3 給湯使用量の予測

蓄熱槽を持つ電気式給湯システム(自然冷媒式ヒートポンプ給湯器や電気ヒータ式給湯器)では、将来の給湯負荷を予測し、必要となる蓄熱量を算出した上で蓄熱運転を行っている。たとえば、自然冷媒式ヒートポンプ給湯器では、翌日の負荷を予測し、料金が安価な深夜電力を利用して蓄熱し、低コスト運転を行っている。また、固体高分子型燃料電池などの分散型発電機をもつ給湯器では、給湯システム運転当日における電力使用量及び給湯使用量の予測を行ないながら、発電・蓄熱運転を行っている。このように、蓄熱槽を持つ各種給湯システムでは、当日ないし翌日の給湯使用量の予測が重要となってくる^{26, 27)}。

長谷川ら^{28, 29)}は、集合住宅の複数の住宅の給湯使用量合計に対して時系列予測を行なっている。地域給湯システムの熱源設備設計に関する尾島ら³⁰⁾の報告には、住宅を複数まとめることにより、個々の住宅における給湯負荷の変動が相互に打ち消しあい、安定した負荷パターンになることが示されているが、スペース等の点で蓄熱式給湯システムの設置が集合住宅より比較的容易な日本の戸建住宅では、住宅毎に給湯器が設置されるため、個々の住宅の給湯使用量の予測が必要となってくる。

戸建住宅の給湯使用量の予測手法としては、森本ら³¹⁾は、前日と1週間前の使用量に重み付けをして線形加算することにより、当日の電力や給湯の使用量予測を行うことを提案している。また電気式の給湯システムでは、予測日直近の過去7日間の平均値が予測に用いら

れているが、この手法は直前の特異な給湯使用状況に大きく影響されるため、予測値の安定性に欠ける問題がある。

1.2.4 給湯温度と室温・外気温度の関係

平手ら³²⁾が札幌・福島・筑波・東京・長野・名古屋で行った2383件の入浴に関するアンケート結果（複数回答を認める）によれば、入浴の目的は、“清潔のため”(86%)が多く、ついで“気持ちよいため”(48%)、“冬は保温のため”(40%)であった。ただし、札幌では、“冬は保温のため”が25%とかなり少ない。

この平手らのアンケート結果を考慮すると、夏は汗を落とすなどの“清潔のため”の入浴に対して、冬は“保温のため”に入浴することが多く、給湯温度が夏期よりも高く設定されることがこれに対応していると考えられる。

これまでも様々な給湯使用実態調査^{33, 34, 35, 36, 37)}がなされてきた。高橋ら³⁸⁾は、浴室を暖房して浴室内温度環境を向上させることにより、湯張り入浴からシャワー浴へ入浴スタイルを変化させ、入浴に関する満足感を落とさないで給湯使用量の削減する試みを行っている。ただ、多様な温熱環境が存在する実フィールドにおいて、居住者の滞在時間が長い居間の温熱環境と入浴行為の相関性については解析がなされていない。

1.3 研究の目的

本研究の目的は、住宅のエネルギー消費の現状の把握とその削減方法の提案である。まず、エネルギー消費の実態調査を行い、アンケート結果から居住者の省エネ協力が得やすいと考えられる電力消費に関して、その用途別の分析を行うとともに、電力消費削減のためのライフスタイル改善の重要性についてまとめる。

次に、居住者の受け入れが難しい給湯における省エネに関して、その実態把握を行う。現状では、給湯器機性能の向上による削減を主として目指しているが、その給湯器の効率向上には精度の高い蓄熱運転が必要となる。そこで、実測データをもとに、蓄熱運転の際に必要な給湯使用量を予測する手法の検討を行う。

更に、給湯使用状況と住宅内の温熱環境の関連性について分析を行い、居住者に無理を強いることなく実施可能な給湯消費の削減手法の提案を行う。

1.4 論文の概要

第2章では、日本建築学会が行った日本全国80軒の住宅におけるエネルギー消費実態調査のうち、関西地区で実施した13軒の住宅のエネルギー消費実態計測結果及びエネルギー消費の用途別分析結果について検討する。

暖冷房以外の電力消費に対して在宅者のライフスタイルが及ぼす影響を調べるために、床面積及び家族人数で規格化した13軒の住宅の中間期（春・秋）の電力消費量を参考に、電力消費が最も多い住宅と最も少ない住宅を抽出し、これら住宅間の電力消費量の差異を明ら

かにする。その結果を、関東地区及び九州地区における中間期の電力消費量測定結果と比較し、他の地域においても同様な結果が得られたことを示す。さらに、昼間の居住者の有無が電力消費量に与える影響について明らかにし、ライフスタイルの改善についてまとめる。

第3章では、第2章の住宅内のエネルギー消費量の中で最も大きな割合を占めた給湯分野のエネルギー消費のより詳細な実態を把握するために、第2章とは異なる10軒の住宅において、第2章のような全ガス使用量からの用途別分離ではなく、給湯器における給水温度・給湯温度・給湯量をもとに実測し、その結果についてまとめた。

また、燃料電池などの分散電源による給湯システムでは、発電と同時に発生する熱（給湯）をバランス良く使用できるように、その定格発電能力や蓄熱槽の容量を設計することが必要である。そこで、給湯使用量と同時に電力の使用状況も測定し、熱と電気の比率（熱電比）の実態も調べ、各住宅の暖冷房の熱源の差（ガス又は灯油、電気）による熱電比の季節推移を示す。

第4章および第5章では、第3章における給湯に関するデータを用いて、給湯使用量予測および温熱環境面の改善と関係した省エネ手法の提案を行う。

まず、第4章では、各種蓄熱型給湯器の運用に必要な、翌日の給湯使用量の予測手法を提案する。予測のための予備的検討として、アンケート結果及び測定結果をもとに各住宅の入浴スタイルを3種類に分類するとともに、給湯の日積算値を通常の午前0時0分を基準として算出するのではなく、深夜帰宅などの居住者のライフスタイルを考慮して、例えば午前4時を起点とすることにより日積算給湯使用量の変化幅を小さくできることを示す。

各種のライフスタイルを考慮した日積算給湯使用量と、先に分類した3種類の入浴スタイルをもとに、それぞれの住宅の給湯使用量を予測する確率時系列モデル（自己回帰モデル）を提案する。

平手ら³²⁾のアンケートでは、冬場の入浴の目的として「冬は保温のため」が多くあげられているが、札幌のような全室暖房を行っている寒冷地では「冬は保温のため」との回答は少ない。このことから考えると、高橋ら³⁸⁾が行った冬期の浴室内のみの温熱環境改善ではなく、全室暖房により室内の温熱環境を改善して給湯用エネルギー消費を減らす方法が考えられる。

そこで第5章では、居住者の滞在時間が長い居間における温熱環境を改善することにより、給湯温度を下げて給湯消費量を削減する可能性について検討する。特に、集合住宅から戸建住宅への引越しにより住宅の温熱環境が悪化したモニター宅及び通年で給湯温度があまり変化しない住宅の冬期の温熱環境に着目し、住宅の室内環境に関するアンケート、給湯及び室内の温熱環境の解析を行い、給湯消費量の削減に必要な室内の温熱条件について提案を行う。

住宅における給湯用エネルギーの削減に関する研究

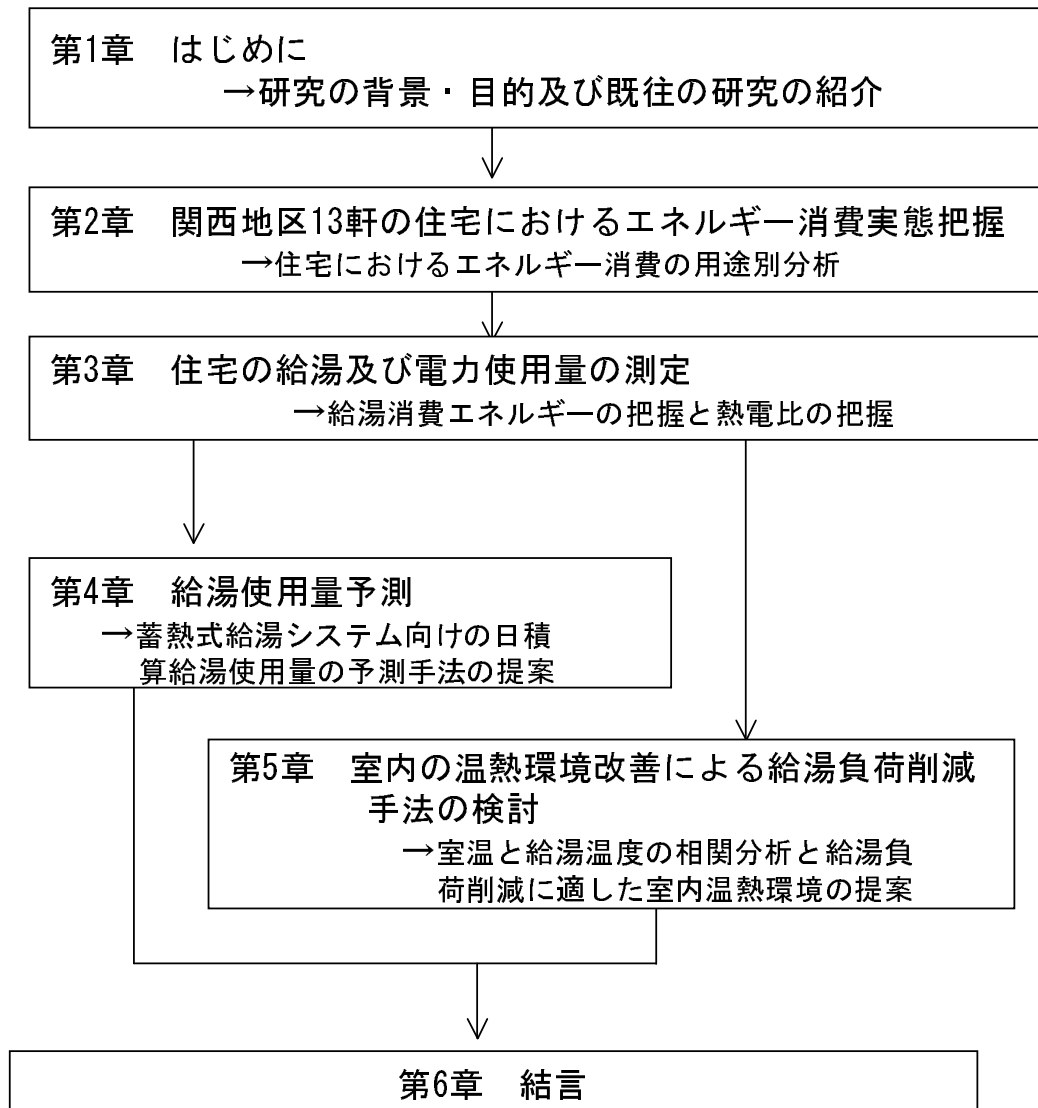


図 1.1 本論文の流れ

参考文献

- 1) <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/2007ghg.pdf>
- 2) 長谷川兼一, 吉野博, 湯浅和博, 千葉智成, 室恵子, 石田健一, 三田村輝章, 村上周三:低負荷型ライフスタイルの省エネルギー効果 - 標準型住宅モデルを用いた数値計算による検討 -, 日本建築学会環境系論文集, 第 608 号, pp.97-104, 2006.10
- 3) 中村美紀子, 中上英俊, 村越千春, 田中章夫:アンケートによる大都市圏の家庭用エネルギー消費構造の実態調査 (第 2 報) エネルギー種別消費量, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, C-33, pp.933-936, 2006.9
- 4) 田中章夫, 中上英俊, 村越千春, 中村美紀子:アンケートによる大都市圏の家庭用エネルギー消費構造の実態調査 (第 3 報) エネルギー消費量, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, C-34, pp.937-940, 2006.9
- 5) 長谷川善明, 井上隆:全国規模アンケートによる住宅内エネルギー消費の実態に関する研究 世帯特性の影響と世帯間のばらつきに関する考察 その 1, 日本建築学会環境系論文集, 第 583 号, pp.23-28, 2004.9
- 6) 落藤澄:集合住宅のエネルギー消費量について, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.5-8, 1974
- 7) 佐長 隆史, 水野 稔, 馬場 伊美子, 辻 毅一郎:住宅における冷房用エネルギー消費と室内温湿度の実態調査, 第 16 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, エネルギー・資源学会, pp.405-410, 2000.01
- 8) 上野 剛, 佐野 史典, 佐伯 修, 辻 毅一郎:住宅における機器ベース電力消費量の計測と推計, 第 17 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, エネルギー・資源学会, pp.21-26, 2001.01
- 9) 宮山 博司, 村川 三郎, 黒谷 靖雄, 西名 大作:中国地方に建つ電化住宅の居住性に関する研究: その 4 冬期における温熱環境特性とエネルギー消費量, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸), D, pp.965-966, 2002.6
- 10) 山岸明浩, 赤林伸一, 坂口淳, 浅間秀樹, 石山洋平:用途別エネルギー消費量の実態 新潟地域の住宅におけるエネルギー消費に関する調査研究 その 1, 日本建築学会環境系論文集, 第 593 号, pp.25-31, 2005.7

- 11) 石山洋平, 赤林伸一, 坂口淳, 山岸明浩, 浅間秀樹:暖冷房機器のエネルギー消費に関する検討-新潟地域の住宅におけるエネルギー消費に関する調査研究-その2, 日本建築学会環境系論文集, 第608号, pp.75-80, 2006.10
- 12) 平山翔, 井上隆, 田中俊彦, 前真之, 岡崎真, 矢野慶一:用途別エネルギー消費量の日変動 - 関東地域における住宅のエネルギー消費に関する調査研究-, 日本建築学会環境系論文集, 第613号, pp.49-55, 2007.3
- 13) 村上周三, 坊垣和明, 田中俊彦, 羽山広文, 吉野博, 赤林伸一, 井上隆, 飯尾昭彦, 鉾井修一, 尾崎明仁, 石山洋平:全国の住宅80戸を対象としたエネルギー消費量の長期詳細調査 対象住宅の属性と用途別エネルギー消費量, 日本建築学会環境系論文集, 第603号, pp.93-100, 2006.5
- 14) 村上周三他: 平成17年度 住宅用エネルギー消費と温暖化対策委員会報告書, 社団法人日本建築学会, pp.1-22, 2006.3
- 15) 大和義昭, 松原斎樹, 蔵澄美仁:京都市および近郊の住宅におけるエネルギー消費量と居住者の意識・住まい方に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第586号, pp.17-23, 2004.12
- 16) 前真之, 鍋島美奈子, 鎌田元康:生活時間パターン分類 - 都心部集合住宅居住者のライフスタイルとエネルギー消費に関する研究 その1 -, 日本建築学会環境系論文集, 第573号, pp.103-109, 2003.11
- 17) 吉永美香, 奥宮正哉:住宅におけるエネルギー消費量と居住者の意識に関する研究 第1報 全電化住宅におけるエネルギー消費量の予備検討、空気調和・衛生工学会学術講演論文集(松江), pp.1729~1732, 2003.9
- 18) 紀谷文樹, 円角健一, 市川憲良, 小川正晃, 栗原隆:男子独身寮における水および湯の使用量に関する実態調査と解析 - 冬期と夏期における実測結果の比較 -, 空気調和・衛生工学会論文集, No.51, pp.69~77, 1993.2
- 19) 前真之, 飯尾昭彦, 石渡博, 市川憲良, 大塚雅之, 坂上恭助, 鎌田元康:湯量・湯熱量に基づく給湯負荷評価 集合住宅における給湯・給水消費に関する実態調査, 空気調和・衛生工学会論文集, No.90, pp.39-48, 2003.7
- 20) 村川三郎, 西名大作, 越川康夫, 高田宏, 森脇雄二, 西胤暢夫, 橋本俊二:单身・独身寮における住戸別給湯負荷の実態とその解析 - 月および日あたり使用湯量・消費熱量, 空気調和・衛生工学会論文集, No.77, pp.31-41, 2000.4
- 21) 佐藤健一, 村川三郎, 北山広樹, 濱田靖弘, 鍋島美奈子, 高田宏, 山本直樹:CO₂ヒートポンプ給湯器を設備した住宅における給湯負荷と稼動実態に関する研究 その7 制御機構の異なる機種における稼動状況の経年比較, 日本建築学会大会学術講演梗概集(中国), D, pp.671-672, 2008.9

- 22) 高畦明子, 村川三郎, 北山広樹, 濱田靖弘, 鍋島美奈子, 高田宏, 山本直樹 :CO₂ ヒートポンプ給湯器を設備した住宅における給湯負荷と稼動実態に関する研究 その5 湯使用実態に基づく給湯負荷算定法の検証, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), D, pp.667-668, 2008.9
- 23) 長濱健太郎, 濱田靖弘, 村川三郎, 北山広樹, 鍋島美奈子, 高田宏 :実使用を考慮した貯湯式給湯機の性能評価に関する研究 第一報 CO₂ ヒートポンプ給湯機の採熱温度による評価 , 第24回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, エネルギー・資源学会, pp.323-326, 2008.1
- 24) 山岸由佳, 杉原英治, 佐伯修, 辻毅一郎 :世帯のエネルギー需要特性を考慮した住宅用コージェネレーションシステムの運用手法に関する研究, 第23回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, pp.343-346, 2007.1
- 25) 稲田亮, 杉原英治, 佐伯修, 辻毅一郎 :実測データに基づく日々のエネルギー需要の変化を考慮した住宅用コージェネレーションの導入評価, 電気学会電力・エネルギー部門大会, pp.7-5 ~ 7-12, 2007.8
- 26) 山岸由佳, 杉原英治, 佐伯修, 辻毅一郎 :日々のエネルギー需要実測データに基づく住宅用コージェネレーションシステムの運用手法に関する研究, 電気学会論文誌 B, 128 巻 3 号, pp.528-535, 2008
- 27) 乾義尚, 武藤利英, 前田哲彦:電力・給湯負荷実測値に基づく集合住宅用 PEFC μ CGS の容量と運転方法の検討, 電気学会論文誌 B, 128 巻 3 号, pp.451-458, 2008
- 28) 長谷川巖, 剣持一, 市川憲良, 紀谷文樹: 住宅の瞬時給水負荷に関する研究 その4 時系列解析による負荷変動の予測, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海), pp.1087-1088, 2004 年 9 月
- 29) 長谷川巖, 市川憲良, 紀谷文樹:給水・給湯負荷の計測と時系列解析を用いた時間負荷変動の予測 集合住宅における給水負荷変動の予測に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, No.494, pp.53-59, 1997 年 4 月
- 30) 尾島俊雄, 佐土原聡:東京の地域暖房住宅における給湯消費量調査と解析, 空気調和・衛生工学会論文集, No.28, pp.73-82, 1985 年 6 月
- 31) 森本義則, 澤田雄治, 橋野浩樹:コージェネレーションシステムの運転方法及びコージェネレーションシステム, 公開特許公報 (A), 特開 2005-291561, 平成 17 年 10 月 22 日
- 32) 平手小太郎, 飯尾昭彦, 鎌田元康, 浅野良晴, 石渡博, 紀谷文樹, 桑沢保夫, 坊垣和明, 市川憲良, 田中正敏:住宅用給湯設備の使用感に関するアンケート調査 第2報 - 浴室周りの調査および湯使用時の要求水準, 空気調和・衛生工学会論文集, No.52, pp.71-80, 1993 年 6 月

- 33) 紀谷文樹, 円角健一, 市川憲良, 小川正晃, 栗原隆: 男子独身寮における水および湯の使用量に関する実態調査と解析 - 冬期と夏期における実測結果の比較 -, 空気調和・衛生工学会論文集, No.51, pp.69-77, 1993 年 2 月
- 34) 村川三郎, 西名大作, 越川康夫, 高田宏, 森脇雄二, 西胤暢夫, 橋本俊二: 单身・独身寮における住戸別給湯負荷の実態とその解析 - 月および日あたり使用湯量・消費熱量について, 空気調和・衛生工学会論文集, No.77, pp.31-41, 2000 年 4 月
- 35) 前真之, 飯尾昭彦, 石渡博, 市川憲良, 大塚雅之, 坂上恭助, 鎌田元康: 湯量・湯熱量に基づく給湯負荷評価 集合住宅における給湯・給水消費に関する実態調査, 空気調和・衛生工学会論文集, No.90, pp.39-48, 2003 年 7 月
- 36) 前真之, 高須直子, 鍋島美奈子, 市川憲良, 飯尾昭彦, 鎌田元康: 住宅における給湯日消費量の季節・短期変動, 日本建築学会環境系論文集, 第 622 号, pp.73-80, 2007 年 12 月
- 37) 前真之, 布野裕子, 石渡博, 市川憲良, 鎌田元康: 湯・水消費の季節変動要因についての分析 都市型集合住宅における給湯・給水の消費構造分析と評価方法に関する研究 (その 1), 日本建築学会環境系論文集, 第 566 号, pp.73-80, 2003 年 4 月
- 38) 高橋裕樹, 前真之, 鎌田元康: 冬期入浴時の浴室内暖房利用が湯消費量と消費エネルギーに与える影響についての研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州), D-1, pp.577-578, 2007.8

第2章 関西地区13軒の住宅におけるエネルギー消費実態把握

2.1 はじめに

建築学会では全国で80軒の住宅のエネルギー計測を行った^{1, 2)}。このプロジェクトの一貫として、近藤、銚井、三浦、ルイスら^{3, 4, 5, 6, 7, 8, 9)}は2003年4月から2005年3月にかけて関西地区の13軒の住宅を対象として、電気・灯油・ガス消費の詳細な測定を行い、エネルギー消費の実態把握を行った。本章では、この測定の概要とエネルギー消費用途別分類の結果及び各住宅におけるライフスタイルに起因する電力消費の差異についてまとめる。

2.2 調査の概要

測定を行ったのは、関西地区の13軒の住宅(表2.1)である。住宅のタイプは集合4軒、戸建9軒で、住宅床面積は $90 \sim 150m^2$ 、家族は大人2人・子2人を基準として選定した。住宅の断熱性能は、EE01、EE02及びEE04は新省エネ基準を、EE03は次世代省エネ基準を満足している。この4軒以外の戸建て住宅の断熱は、省エネ基準レベルである。(注: モニター記号のEEとは、給湯に電気を使用している住宅である。GEとは給湯にガスを使用している住宅である。)

消費電力量は日本ベンディング社製の電力消費量測定装置を使用して、1分間隔・0.1W単位で測定を行った。図2.1に示すように、分電盤の主幹電源部および分岐したブレーカに個別に電力量計を取り付けた。また家電製品については、各住宅で日常的に使われているものを10台程度選び電力量計をコンセントに取り付けた。なお、各電力量計は特定小電力無線によりデータロガーと接続されている。

ガス消費量に関しては、図2.2及び図2.3に示すように、ガスメータに金門社製のロガーを取り付け、5分間隔・10L単位で光学的に測定を行った。なお、ガス消費量はガスメータ部分でのみ測定しているため、消費されたガスの給湯用途・暖房用途等への分離は測定後に推定により行っている。

暖房に使用された灯油に関しては、図2.4及び図2.5に示すように、燃烧室に灯油を送り出すパルスモータへのパルス信号(0.00613ml/pulse)を取り出せるように改造した石油ファンヒータをモニター宅に設置し、15分毎に測定した。なお、灯油、ガス消費量測定装置は単独で設置されており、電力量測定装置のような無線によるデータ収集は行っていない。

表 2.1 モニターに関する情報

	在来木造 新省エネ 基準達成 100~150m ²	地域でシェ アの 高い住宅	全電化	電気と都 市 ガス併用	所在地	建築年	建築物所有	建物種別	床面積 (m ²)	構造・工法	熱損失係数 (W/m ² ・K)	隙間相当面 積 (cm ² /m ²)
EE01	○		○		大阪府 泉南市	H11	持ち家	戸建	112	木造	2.04	4.25
EE02	○		○		兵庫県 西宮市	H13	持ち家	戸建	97	木造	2.37	12.15
EE03	○		○		兵庫県 三田市	H14	持ち家	戸建	158	木造	1.49	2.51
EE04	○		○		京都府 相楽郡	H13	持ち家	戸建	118	S	2.41	4.83
EE05		○	○		大阪府 豊中市	H13	持ち家	集合	73	RC	1.09	0.9
GE01		○		○	奈良県 奈良市	H11	持ち家	戸建	126	木造	1.79	6.5
GE02		○		○	奈良県 生駒市	H7	持ち家	集合	85	RC	0.87	0.96
GE03		○		○	京都府 木津市	H8	持ち家	集合	76	RC	1.34	1.28
GE04		○		○	奈良県 生駒市	H1	持ち家	集合	106	RC	1.55	1.58
GE05		○		○	滋賀県 大津市	H1	持ち家	戸建	115	木造	2.61	8.17
GE06		○		○	大阪府 高槻市	H3	持ち家	戸建	100	木造	2.61	6.4
GE07		○		○	大阪府 吹田市	S60	持ち家	戸建	107	S	2.92	10.5
GE08		○		○	奈良県 生駒市	H12	持ち家	戸建	143	S	1.37	5.36

	用途別エネルギー源				契約種別		家族人数 (人)
	暖房	冷房	給湯	調理	電気	ガス	
EE01	灯油	電気	電気	電気	従A	-	4
EE02	灯油	電気	電気	電気	従A	-	4
EE03	電気	電気	電気	電気	従A	-	5
EE04	電気 灯油	電気	電気	電気	従A	-	4
EE05	電気	電気	電気	電気	従A	-	2
GE01	灯油 ガ床	電気	ガス	ガス	従A	13A	4
GE02	電気	電気	ガス	ガス	従A	13A	4
GE03	電気	電気	ガス	ガス	従A	13A	4
GE04	電気	電気	ガス	ガス	従A	13A	4
GE05	電気	電気	ガス	ガス	従A	13A	5
GE06	電気	電気	ガス	ガス	従A	13A	3
GE07	電気 灯油	電気	ガス	ガス	従A	13A	2
GE08	ガスM	ガスM	ガス	電気	従A	13A	5

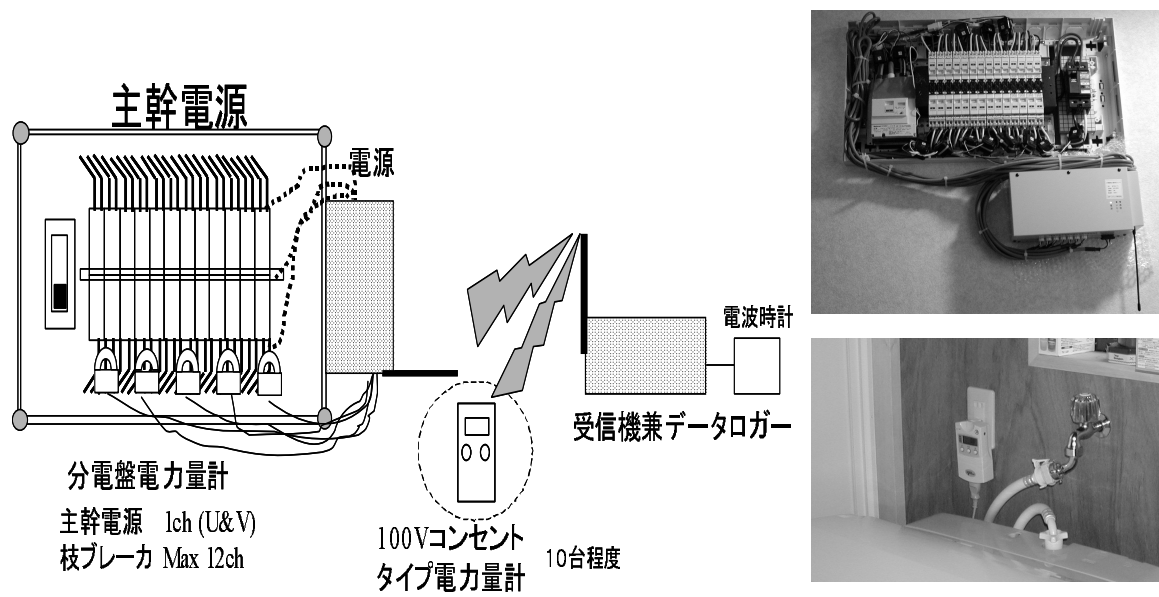


図 2.1 電力消費量計測装置

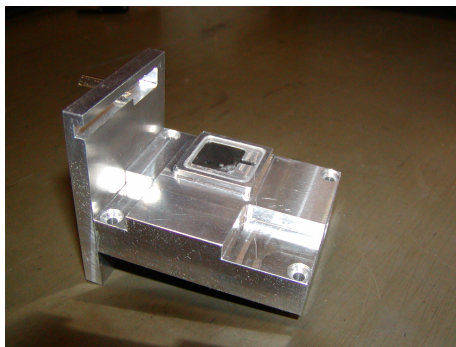


図 2.2 ガス流量計



図 2.3 ガス流量計を取付けた状態



図 2.4 石油ファンヒータ正面



12 図 2.5 石油ファンヒータ裏面

2.3 使用エネルギーの用途別分解方法

2.3.1 ガス

ガスは暖房、調理及び給湯に使用されている。ガスメータで読み取られるガス消費量はそれらの和になっており、用途別分解を行う必要がある。電力の用途別分解で分類した浴室の照明、台所の換気扇の使用状況や、個別に測定した室温の変化をもとにして、どこでガスが使用されたのか推定し、ガスの用途別分解を行った。

2.3.2 灯油

灯油は暖房のみに使用されている。よって、改造した石油ファンヒータにおける灯油の消費量は、暖房用消費エネルギーとして算入した。

2.3.3 電気

電気に関しては、調査の開始と前後して各住宅に聞き取り調査を行い、表 2.2 に示すような家電製品リストを作成し、家電製品と分電盤のブレーカとの対応を調査した。また居住者からの聞き取り調査により、使用頻度の高い機器（冷蔵庫、テレビ、炊飯器など）を抽出し、コンセント専用の電力量計を取り付けた。

分電盤で測定できるブレーカ数は 12 であったため、ブレーカ数が 12 より多い住宅では、居住者の使用頻度が高い部屋に繋がるブレーカに測定器を取り付けた。例えば、エアコン、IH 等の日常使用される家電製品が接続されたブレーカは優先的に選定した。

ブレーカに 1 台の家電製品しか接続されていない場合は、電気の用途別分解は必要ない。しかし、居間や台所のような、ブレーカに対して複数の家電製品が接続されている場合には、推定により用途別分解を行った。

図 2.6 に GE02 における 2003 年 5 月 4 日 12 時～21 時の居間・台所ブレーカの用途別分解例を示す。アンケート調査により、この部屋には、照明 3 灯とテレビ/ビデオ、電気ポット、レンジフード、コーヒーメーカーなどの家電製品が設置されていることが分かっている。この部屋の居間・台所用のブレーカ（CH2 図 2.6 上）から、個別に測定したテレビ・ビデオに使用した電力（CH13 図 2.6 中）及び電気ポットの使用電力（CH16 図 2.6 中）を差し引いたものが、図 2.6 下である。この図 2.6 下の 12 時から 19 時 15 分頃までの消費電力をみると、20W 前後の負荷が常に存在しており、これを待機電力として分類した。

アンケート調査から、この住宅では定格で 68W（30W と 38W の 2 灯）の照明が居間に 2 つ、台所に 2 つあることが分かっており、図 2.6 下の夜間 19 時 15 分以降の 200W に近い負荷の大部分は照明負荷によると推測される。これから先ほど推測した 20W の待機電力を差し引くと、180W 程度となり、これは照明 68W の 3 基分に近い。また、16 時 30 分頃に発生した 60W の負荷は、20W の待機電力を差し引くと 40W となり、38W の照明 1 灯に相当するため、これを照明による消費として分類した。

詳細測定における属性調査共通記入用紙(No.3)

記入事項			記入欄						
設置場所 (部屋名)	機器名	メーカー	型式	製造年 (購入年)	性能(容量) (消費電力W等)	使用頻度 (1日平均使用時間)	計測の有無	計測開始月日	計測器番号 A:コンセント B:分電盤
洋室(1)	照明	*****	BHN355166						
	エアコン	*****	AY-259E						
	デスクライト	*****							
	ヒーター(ガス)	*****	RC-289E-1						
	掃除機	*****	CV-W62	96					
洋室(2)	照明								
	扇風機	*****	FC304F	89	36				
	デスクライト	*****	LK-282		25				
	デスクライト	*****	LK-282		25				
洗面室	照明				蛍60				
	照明(洗面台)	*****			白20				
	ドライヤー	*****	EH549	92	1200				
	洗濯機	*****	ES-A70S	2002	450				
	くもりどめ	*****			35				
浴室	照明	*****			白				
	換気扇	*****							
	暖房付きバス乾燥機	*****	FY-12UB1BL		換気23				
					自動換気23				
					乾燥1245				
					暖1220				
トイレ	照明				60				
	換気扇	*****							
廊下	照明×3	*****			60×3				
和室	照明				60(32+28)				
	掃除機	*****	DVS-1	2000					
	携帯充電器	*****							
	テレビ	*****	C21-E19		91				
	デスクトップPC(液晶)	*****							
	スキャナー	*****	G.T-7000 WIN9						
	プリンター	*****	PC-900C						
	ゲーム機	*****	SUPER FAMICON						
	モデム	*****							
	スピーカー	*****							

14

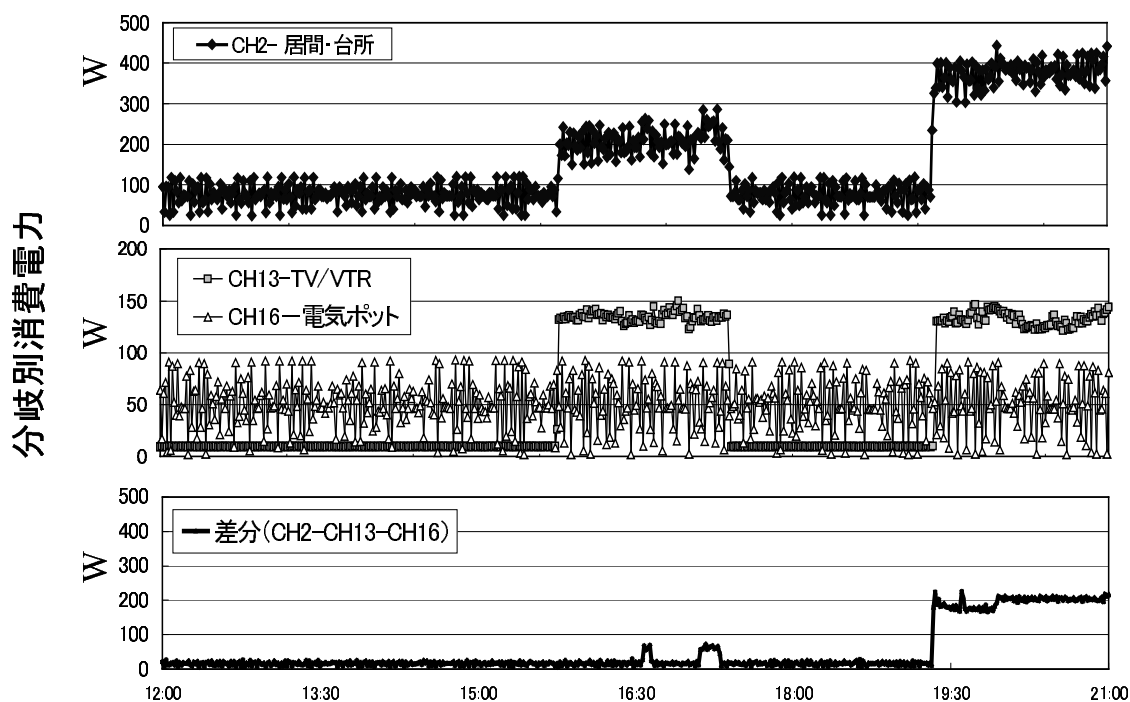


図 2.6 GE02 の居間・台所における電力の用途別分解例

このように、分電盤において測定した電力消費量と、コンセントにおいて単独測定した家電製品による消費量を差し引いた電力量をもとに、未計測の家電製品別の電力用途別分類を行った。居間や台所は一般的に長く照明をつける可能性がある部屋なので、設置されている照明器具の定格消費電力以上の負荷が一定して長く発生している場合は、まず照明負荷に分類した。

また、深夜や昼間のように家電製品の使用が少ない時間帯における最低消費電力量をもとに、ベース電力を算出した。これら照明及びベース負荷を差し引いた残りの電力量に関して、例えば、600W 負荷が数分生じた場合は掃除機等であると推定した。また、洗面所において朝、夜に 600W 以上の負荷が数回発生した場合はドライヤーの使用と分類した。同様の処理を他の部屋にも行い、電力の用途分解を行った。

2.4 全エネルギー消費の概要

図 2.7 に、13 軒の住宅の 2003/3～2004/2 における検針伝票に基づく年間全エネルギー消費量（2 次エネルギー換算）と、長谷川ら¹⁰⁾ がアンケートで行った全国 3366 軒のエネルギー消費量の調査結果とを比較する。

13 軒の住宅の年間全エネルギー消費量は、30～84GJ で、長谷川らの結果における 35% から 97% の範囲に分布している。エネルギー消費が最も少ない EE05 と最大の GE08 では 2.8 倍程度の差がある。また、EE05 は 2 人世帯であるので除くと、4 人世帯である GE05（累積分布で下から 2 番目）と GE08 を比較しても、ほぼ 2.7 倍近くエネルギー消費に差がある。

ここで、エネルギー消費が標準より大きい住宅（累積分布で 60 % 以上の住宅と定義する）

8 軒についてみると、全電化住宅は 4 軒、電気・ガス併用住宅が 4 軒と同数であった。給湯熱源にガスを使用している 4 軒の住宅のうち、2 軒は集合住宅であった。電化住宅のうち集合住宅は 1 軒（EE05）であり、家族構成は共働きの 2 人世帯である。

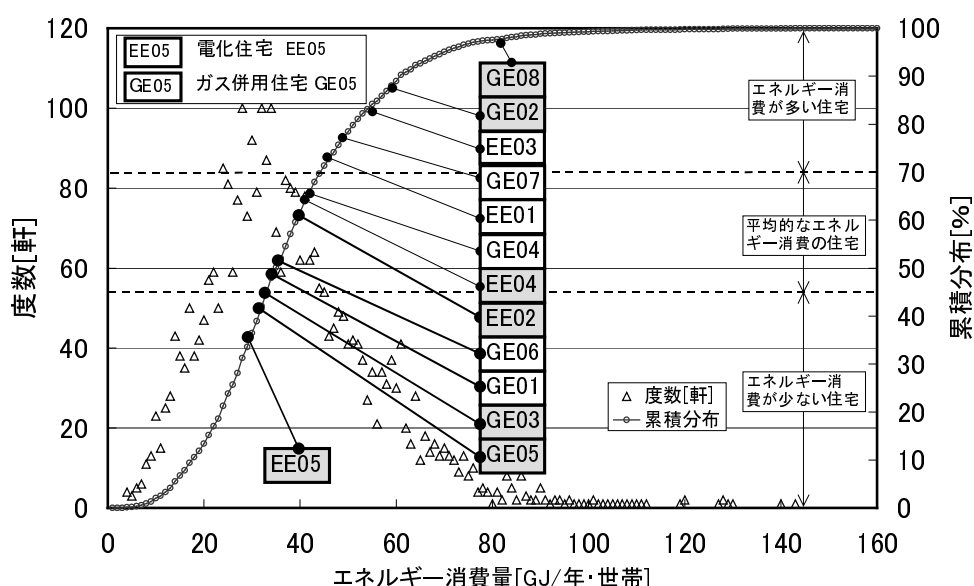


図 2.7 各住宅における全エネルギー使用量（関西 13 軒と全国 3366 軒の分布）

2.5 エネルギー消費分析

2.5.1 解析対象住宅

図 2.7 に基づき、関西 13 軒の住宅をエネルギー消費が多い住宅（図 2.7 の積算で 70% 以上）、平均的なエネルギー消費の住宅（図 2.7 の積算で 47～70%）、エネルギー消費が少ない住宅（図 2.7 の 47% 以下）の 3 つに分けた。

まず、エネルギー消費の多い住宅群から GE07 と EE03 を選択した。エネルギー消費が平均的な住宅として EE04 と EE02 の 2 軒を、そしてエネルギー消費の少ない住宅として GE03 と GE05 及び EE05 を選んで解析を行った。なお、エネルギー消費が少ないグループから 3 軒選択したのは、EE05 を除く他のモニターでは世帯人数が 4～5 人であるのに対して、EE05 では世帯人数が 2 人であり、家族人数が 4 人であった GE03 を加えたためである。

エネルギー消費の解析の期間として、冬期は 2003 年 2 月、中間期は 2003 年 5 月、夏期は 2003 年 8 月を選定した。また、測定と同時に、長谷川ら^{10, 11)}のアンケートと同様のアンケートを行った結果を、19 頁以降の表 2.3 から表 2.8 に示す。

2.5.2 季節別・用途別のエネルギー消費

まず、解析対象 7 軒の住宅における季節別のエネルギー消費を用途別（給湯、暖冷房・換気、厨房、娯楽・情報、照明、冷蔵庫、家事・衛生及びその他）に分類した結果を図 2.8 に示

す。大部分の住宅において、全エネルギー消費に占める給湯用エネルギー消費が最も多く、これに暖冷房・換気、照明、冷蔵庫のエネルギー消費が続いている。年間のエネルギー消費が多い住宅群においては、冬期及び夏期にエネルギー消費が多いという傾向が見られるが、中間期におけるエネルギー消費に各エネルギー消費量群間の明確な差異は見受けられない。

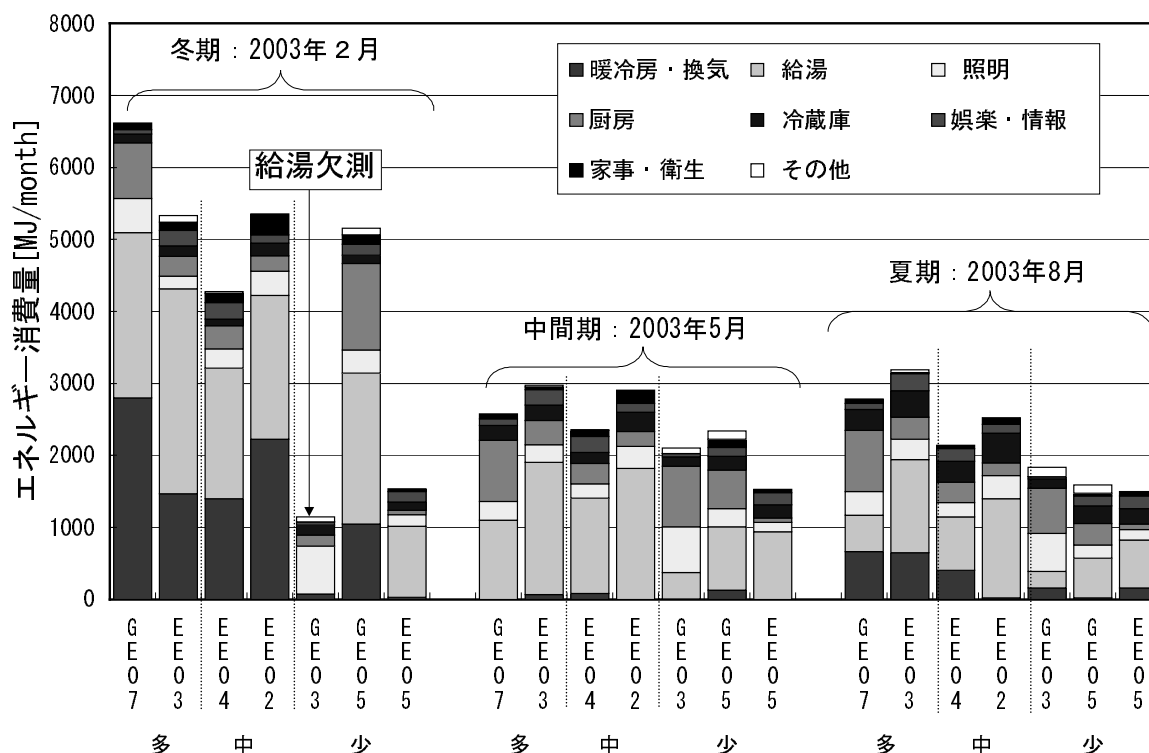


図 2.8 各住戸における季節別エネルギー消費の用途別分類

2.5.3 給湯及び暖房用のエネルギー消費

(1) 給湯用途

最初に、多くのエネルギーが消費されている給湯用エネルギーの消費量を、図 2.8 から取り出し図 2.9 に示す。給湯消費量は、給水温が高くなる夏期に少なく、給水温度が低くなる冬期に多くなる傾向が報告¹²⁾されており、今回の測定においても、冬期給湯用エネルギー消費量が夏期のエネルギー消費量より多く、冬期 > 中間期 > 夏期の順となっている。

給水温度の季節的な変動に関して、入浴スタイル（浴槽湯張り入浴やシャワー入浴）の季節的な変動がなく、常に 1 週間に 7 回湯張りを行っている EE02 を例に考察する。

EE02 への聞き取り調査によれば、冬期給湯温度は 42℃、夏期給湯温度は 40℃であった。EE02 における 2 月の平均給水温度は 9.9℃、8 月の平均給水温度は 26.6℃であった。よって、冬期の給湯温度と給水温度の差は 32.1℃、夏期の給湯温度と給水温度の差は 13.4℃となり、夏期と冬期の給湯温度と給水温度の差の比は 2.4 倍となる。ところで、EE02 における冬期と夏期の給湯用途のエネルギー消費量の比は 2.2 倍であり、これは冬期と夏期の給湯温度と給水温度の差の比にほぼ等しい。

同様に、中間期の給水温度は平均で 19.6 であり、今回聞き取り調査はおこなっていないが、仮に給湯温度が 41 であったとすると、夏期と中間期の給湯温度と給水温度の差の比は 1.6 倍となる。給湯用のエネルギー消費量測定値の中間期と夏期の比は 1.4 倍となっており、これも中間期と夏期の給湯温度と給水温度の差の比にほぼ等しいといえる。

このように、給湯用途のエネルギー消費は給水温度と給湯温度の変動に大きく影響を受けていることがわかる。なお、今回の測定では、ガス消費量を元に給湯用エネルギー消費量を算出したが、第 3 章において、別のモニター宅に関して給水量と給湯・給水温度の測定値を元に行った給湯用途のエネルギー消費量測定結果を示す。

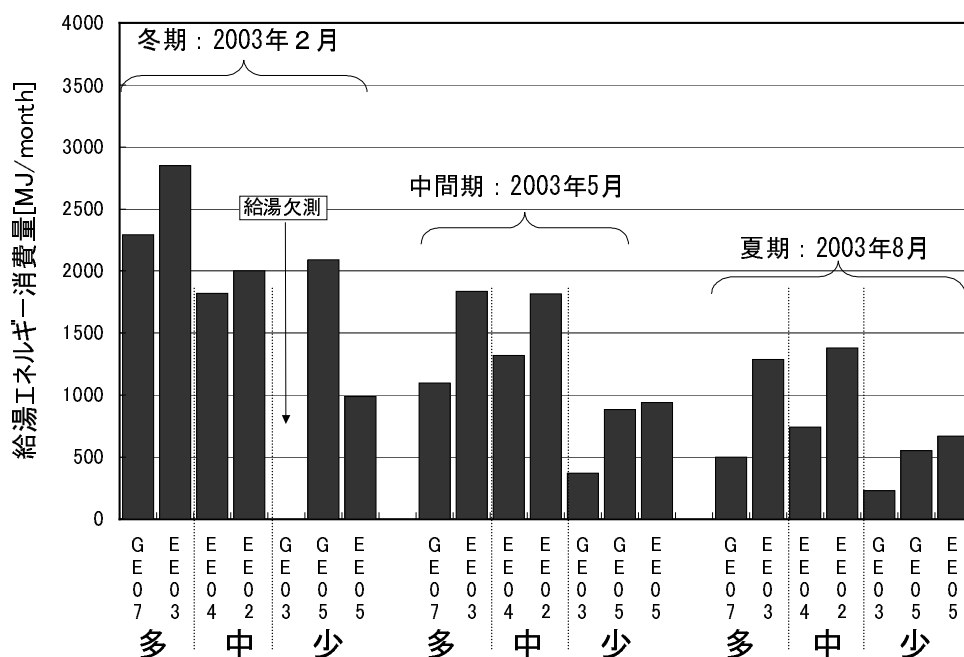


図 2.9 各住宅における季節別給湯エネルギー消費

図 2.8 を見ると、EE05 は夏期・中間期・冬期を通じて給湯用エネルギー消費が少ない。表 2.3 によると、他の住宅と異なり、EE05 は冬場でもあまり浴槽湯張り入浴はしていないという特徴があった。そこで、測定した住戸の季節別入浴方法（湯張り浴又はシャワー浴）の変化について、本研究と同時期に行われた村上ら²⁾の関西地区におけるアンケート結果との比較をおこなった。

- 冬期において、週 7 回以上湯張りをする住宅は本研究では 4 軒 (57%) であり、村上らのアンケートでは約 56% であった。
- 夏期においては、週 7 回以上湯張りをする住宅は本研究では 3 軒 (42%) であり、村上らのアンケートでは約 34% であった。
- 冬期において、週 1 回以下しか湯張りをしない住宅は本研究では 1 軒 (14%) であり、村上らのアンケートでは約 8% であった。

- 夏期においては、週 1 回以下しか湯張りをしない住宅は本研究では 3 軒（42 %）であり、村上らのアンケートでは約 24% であった。

これらのことより、今回の調査住宅数は 7 軒と少ないが、村上らのアンケート結果から大きく外れるものではないと言える。

よって、今回の解析対象とした住宅では入浴方法（1 週間あたりに浴槽湯張りをする回数）の偏りは少ないと考えられる。また、EE05 のような 2 人世帯に関する入浴のアンケート結果（全国）によれば、冬期に週 1 回以下の浴槽湯張りする住宅は約 14%、夏期では約 54% であり、冬期においても EE05 のような殆ど浴槽湯張りをしない住宅は多くはないが、存在することがわかる。

表 2.3 入浴方法と頻度

アンケート項目 (1 週間あたりの入浴回数)	EE02	EE03	EE04	EE05	GE03	GE05	GE07
5 月頃、浴槽に湯を張った回数	7	7	7	0.5	7	4	7
5 月頃、シャワーのみを使った回数	0	0	3	21	0	0	0
7,8 月頃、浴槽に湯を張った回数	7	7	1	0.25	7	2	0
7,8 月頃、シャワーのみを使った回数	0	2	24	21	0	25	7
10 月頃、浴槽に湯を張った回数	7	7	7	1	7	4	4
10 月頃、シャワーのみを使った回数	0	0	5	18	0	0	0
冬期、浴槽に湯を張った回数	7	7	7	1	7	3	4
冬期、シャワーのみを使った回数	0	0	5	18	0	0	0

(2) 暖冷房用途

次に図 2.8 から冬期の暖冷房を取り出し、再度図 2.10 にまとめる。GE07 及び EE02 は他の住宅よりも多くのエネルギーを消費している。表 2.4 に示すように、冬期における温熱環境について、GE07 及び EE02 が無暖房時に不満を感じている。

また、表 2.5 に示すように、GE07 と GE02 では灯油による暖房を “つけっ放し”、“どちらかといえばつけっ放し”にしている。このような温熱環境への不満は暖房用のエネルギー消費状況に関連しているものと考えられる。

年間の総エネルギー消費量が少ない群に属している GE05 では、冬期の暖房用途のエネルギー消費量が大きい。GE05 は、聞き取り調査によるとオイルヒータを多用しており、これが GE05 における冬期の暖房用途のエネルギー消費量が大きい原因となっていると考えられる。

冬期において、他の住宅と較べて暖房用途のエネルギー消費の少ない GE03 と EE05 は、ともに集合住宅であり、住宅からの熱損失が少ないためと考えられる。

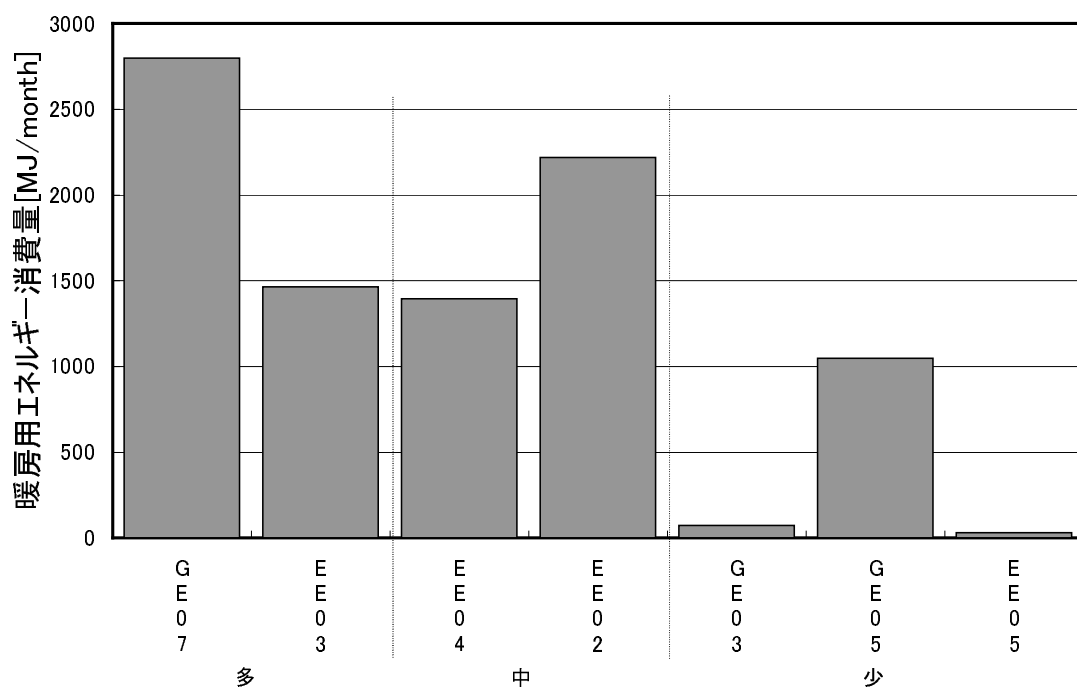


図 2.10 各家庭における冬期のエネルギー消費の用途別分解：暖房用途

表 2.4 住宅内温熱環境への満足感

冬期快適性への満足度							
	EE02	EE03	EE04	EE05	GE03	GE05	GE07
日当たり	3	3	2	2	3	4	2
暖房していないときの快適性	4	2	3	2	2	3	4
暖房しているときの快適性	3	2	2	2	2	2	2
総合的な快適性	3	2	3	2	2	3	4
夏期快適性への満足度							
	EE02	EE03	EE04	EE05	GE03	GE05	GE07
風通し	2	2	5	2	2	1	4
冷房していないときの快適性	3	1	4	2	4	2	4
冷房しているときの快適性	6	1	2	2	2	1	2
総合的な快適性	3	1	4	2	2	1	3
選択肢の内容							
1:かなり満足 2:まあ満足 3:どちらとも言えない							
4:やや不満 5:かなり不満 6:使っていない							

表 2.5 家電・エネルギー機器の使い方

冬期使用状況							
使用器具	EE02	EE03	EE04	EE05	GE03	GE05	GE07
照明	2	2	4	2	2	1	2
エアコン（暖房）	6	3	1	6	2	1	6
電気コタツ	4	3	4	6	N	2	2
ホットカーペット	6	1	1	6	N	2	6
床暖房	6	2	6	6	3	6	6
電気暖房（上記の物を除く）	6	3	6	6	N	2	6
ガスの暖房	6	6	6	6	N	N	6
灯油の暖房	4	6	3	6	N	N	5
夏期使用状況							
使用器具	EE02	EE03	EE04	EE05	GE03	GE05	GE07
照明	3	4	3	3	2	2	1
テレビ	2	2	3	5	2	1	1
エアコン・クーラー（冷房）	6	1	4	4	2	1	1
扇風機	3	1	2	4	6	2	2
選択肢の内容							
1：こまめに消す 2：どちらかといえはこまめに消す 3：普通 4：どちらかといえはつけ放し 5：つけ放しにしている 6：使わない （注：N 無回答）							

2.5.4 エネルギー消費量と光熱費の負担感

表 2.6 の夏期・冬期の光熱費の負担感に関するアンケート結果によると、夏期に関しては、EE04 と GE05 を除き光熱費の負担感を感じていない。一方、EE02 と EE03 及び GE05 が冬期の光熱費の負担感を感じている。これは、図 2.8 に示すように、冬期は給湯及び暖房用途のエネルギー消費が他の季節に較べて大きいためと考えられる。

表 2.7 の他の住宅との光熱費の比較において、EE03 と GE05 及び GE07 は他の住宅より多いと感じている。しかし、図 2.8 においてエネルギー消費が比較的大きい EE02 は他の住宅程度と感じている。

表 2.6 夏期及び冬期の光熱費の負担感

光熱費に関する負担感	EE02	EE03	EE04	EE05	GE03	GE05	GE07
夏期	3	3	2	3	3	2	3
冬期	2	1	3	3	3	2	3
選択肢の内容							
1:大変負担に感じる	2:やや負担に感じる		3:特に負担に感じない		4:わからない		

表 2.7 夏期及び冬期における光熱費の他の住宅との比較

他の住宅との光熱費の比較	EE02	EE03	EE04	EE05	GE03	GE05	GE07
夏期	3	3	4	5	4	3	2
冬期	3	2	3	5	3	2	1
選択肢の内容							
1:多いと思う 2: やや多いと思う 3:普通 4:やや少ないと思う 5:少ないと思う							

2.6 暖冷房以外の電力消費に対して在宅者のライフスタイルが及ぼす影響

2.6.1 はじめに

7軒の住宅が省エネへの協力に対してどのように感じているのかを表2.8にまとめた。本表によれば、テレビなどの家電機器の“つけっ放し”をやめるという行為に関しては、回答の平均値は2であり、この種の行動への省エネ協力は容易であるといえる。

夏期の冷房及び冬期の暖房については、回答の平均値は3を下回っており、“多少なら協力できる”と見なされる。しかし、給湯に関しては、特に冬期の給湯に関しては、“シャワーを使用する際に節水する”を除き、回答の平均値は3を上回り、“あまり協力できない”と考えられる。これについては、長谷川¹⁰⁾らのアンケート結果でも同様の傾向が見られ、給湯の省エネに関しては、自主的な省エネ行動は難しいと言える。また、省エネの為の表示装置の導入に関しても、導入への積極的な回答はなく、この種の機器の普及の難しさが分かる。

よって、給湯関係の省エネへの取り組みは容易ではないが、テレビをつけっぱなしにしないなどの家電機器に関する省エネへの協力は、取り組みが比較的行いやすいようである。そこで、本節では、各住宅の断熱・気密性能の違いの影響が少ないと考えられる中間期（春・秋）の電力消費に着目した解析を行い、電力消費削減手法を探った。

表 2.8 各種省エネ行動への協力

冬期取り組み事項	EE02	EE03	EE04	EE05	GE03	GE05	GE07	平均
暖房する時間や期間を減らす	5	2	2	2	2	2	2	2.4
暖房する部屋の数減らす	4	2	4	1	4	1	3	2.7
暖房の設定温度を低めにする	1	2	2	2	2	3	2	2.0
風呂の回数を減らす	5	5	5	2	2	5	4	4.0
風呂のお湯の量を減らす	4	3	4	2	4	5	2	3.4
シャワーを使用する際に節水する	4	2	2	3	2	4	2	2.7
就寝時など暖房をタイマー運転にする	1	6	6	2	6	6	3	2
省エネモードなどに設定する	1	2	2	1	2	2		1.7
テレビやオーディオの音量を控えめにする	1	1	2	2	2	4	3	2.1
エアコンテレビをつけっ放しにしない	1	1	2	2	2	4	2	2.0
消費エネルギー量を表示する機器を購入する	4	5	5	3	4	5	3	4.1
夏期取り組み事項	EE02	EE03	EE04	EE05	GE03	GE05	GE07	平均
冷房する時間や期間を減らす	1	2	5	2	2	1	1	2.0
冷房する部屋の数減らす	1	2	3	3	1	1	1	1.7
冷房の設定温度を高めにする	1	1	3	2	3	1	1	1.7
風呂の回数を減らす	5	5	4	2	2	2	5	3.6
風呂のお湯の量を減らす	4	2	1	2	2	2	2	2.1
シャワーを使用する際に節水する	2	2	2	2	2	2	2	2.0
ガスコンロの火力を控えめにする	3	5	2	6	3	1	1	2.4
節水シャワーヘッドを使用する	4	5	1	5	3	2	3	3.1
調理や洗面で湯を使うのを減らす	3	2	3	2	4	2	2	2.3
冷房を使用するかわりに窓をあける	1	2	4	2	4	1	3	2.0
選択肢の内容								
1:できる 2:多少ならできる 3:どちらともいえない 4:あまりできない 5:できない 6:もっていない								

2.6.2 中間期（春・秋）における電力消費

まず、測定した関西の 13 軒の住宅における生活スタイルの違いに起因する電力消費の差を検証するため、電力消費が最大の住宅と最小の住宅を抽出する。

最初に各住宅間の調理・給湯熱源の違いによる電力消費の差異を除くため、総電力使用量から、電気式給湯器及び電磁調理器で使用した電力量を取り除いた。各住宅の給湯・調理使用分を除いた月平均電力消費量と、年間全エネルギー使用量の関係を図 2.11 に示す。全エネルギー消費の多い住宅は電力消費も多い傾向にあるといえる。よって、エネルギー多消費の住宅におけるエネルギー消費低減策を考える際に、電力消費の低減は重要になると考えられる。

冬期及び夏期においては、住戸により暖冷房の熱源及び断熱性能が異なる。従って、本節では、断熱性能や暖冷房以外の生活スタイルの改善に基づく省エネ対策を検討するため、暖冷房負荷が存在しない中間期の電力消費に着目した。

図 2.12 に、中間期（2003 年 5 月及び 10 月）における 1 ヶ月あたりの電力消費を示す。5 月は初旬に連続した休日があるが、10 月と較べて電力消費に大きな差はない。よって、データ欠損のない 5 月を中間期の代表月として分析をおこなう。

今回測定した住宅は、床面積や居住者の数などはある程度統一されているが、家族構成及び床面積は異なる。家族構成や床面積が異なると、導入されている電気機器の数や照明等の設置数が異なるために、住戸間の電力消費量の直接的な比較は難しい。そこで、横軸に家族人数当たりの電力消費を、縦軸に床面積当たりの電力消費をとり、各住戸の電力消費を比較した。

これは、照明負荷等は床面積にある程度比例すると考えられるが、冷蔵庫等の消費電力は冷蔵庫の容量（家族人数等）が関係し、必ずしも床面積には比例しないと考えられるためである。そこで、これらの 2 つの指標を元に、家族人数や床面積の割にエネルギー消費が多い住宅を選定することとした。

各住宅における、床面積あたりの電力消費と居住者 1 人あたりの電力消費の関係（2003 年 5 月）を図 2.13 に示す。GE04（ $80.4[\text{kWh}/\text{month} \cdot \text{人}]$ 、 $2.56[\text{kWh}/\text{month} \cdot \text{m}^2]$ ）を中心として測定値は集中している。ただ、GE02 は床面積及び家族人数あたりの両方において他の住宅よりも電力消費が大きく、エネルギー消費が最小の GE01 のほぼ 5 倍となっている。（床面積・家族人数で規格化する以前の 2003 年 5 月の積算電力消費量では、GE02 は GE08 について 2 番目の積算電力消費量である。）GE01 は積算電力消費量は最小となっている。

以上より、GE02 の詳細な電力用途別消費量の分析をおこない、その多消費の原因を探る。併せて電力消費量の少ない GE01 についても、その電力消費の特徴を分析する。

2.6.3 電力多消費・電力少消費住宅の概要

表 2.1 に示すように、GE01 と GE02 は所在する都市は異なるが、近接した地域にある（5km 程度の距離）。また、家族構成や、年間所得もほぼ同じであった。ただ、GE01 は共働きの家庭のため、平日の昼間（9 時から 18 時頃まで）は大人の在宅者はいないが、GE02 では専業主婦が在宅している。また GE01 は戸建住宅であり、GE02 は集合住宅である。

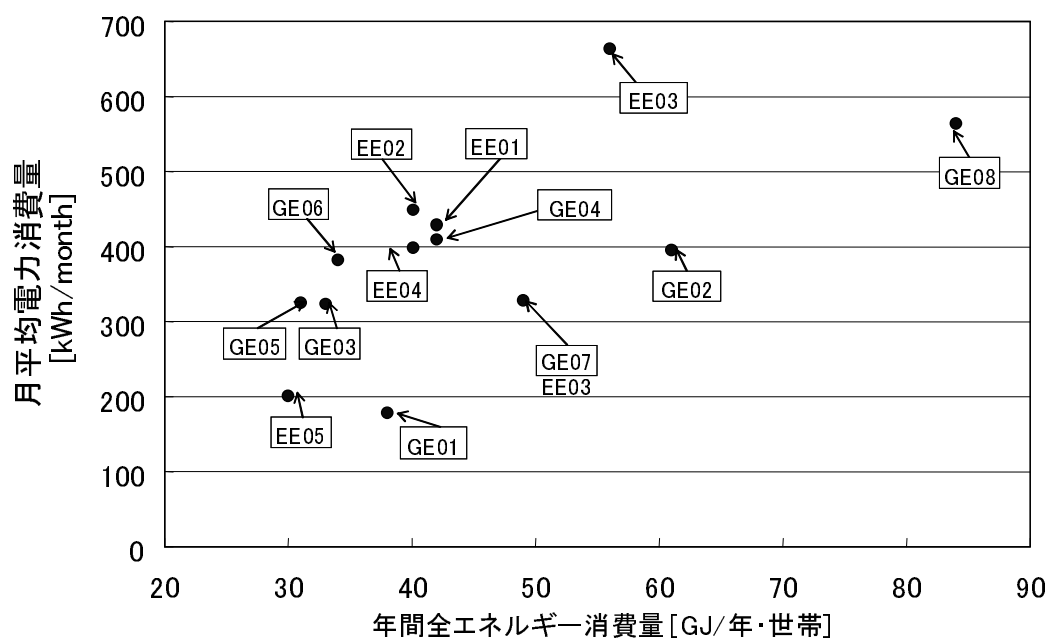


図 2.11 関西の 13 軒における月平均電力使用量と年間全エネルギー使用量との関係
(電力量に関しては給湯・調理分を除く)

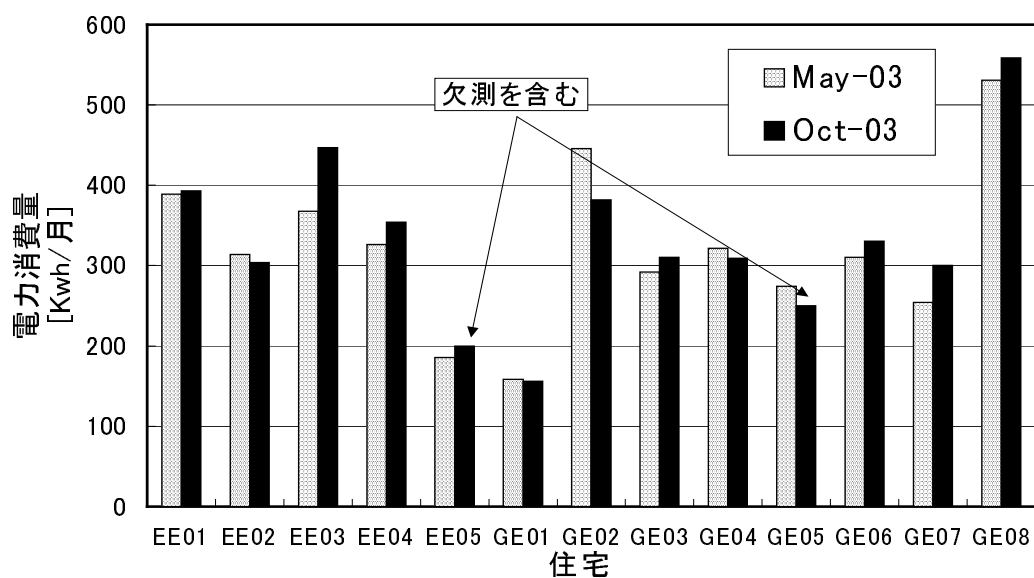


図 2.12 2003 年 5 月及び 2003 年 10 月における各住宅の月積算電力消費量の比較

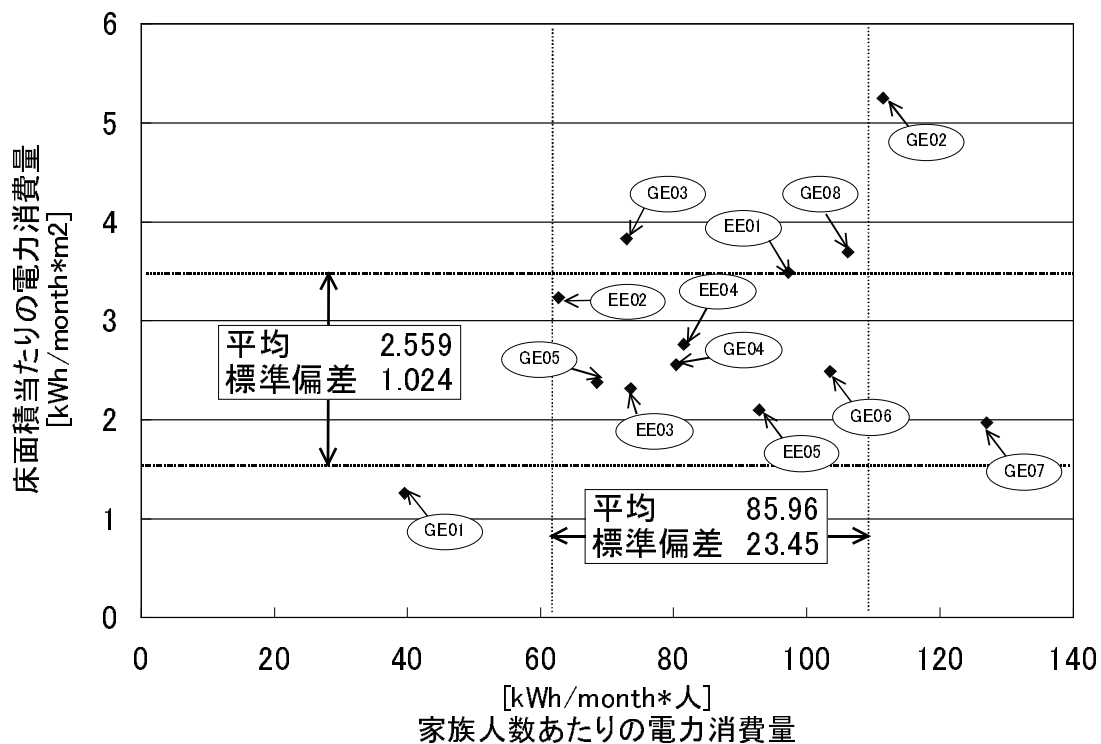


図 2.13 床面積及び家族人数あたりの電力消費量（給湯・調理分を除く）

図 2.14、2.15 に GE01 および GE02 の平面図を示す。GE01 は 2 階建ての住宅で、その床面積は GE02 より 1.5 倍程度大きいため、照明等の負荷は GE01 の方が GE02 よりも大きいと考えられる。よって、夜間の電力負荷は GE01 の方が大きく、日中の負荷は在宅者の存在する GE02 の方が大きいものと推測される。しかし、図 2.16 の 2003 年 5 月の 1ヶ月間の消費電力が示すように、GE02 は GE01 より一日を通じて消費電力量が多い。この電力消費の違いを分析するために、次節においてそれぞれの住宅における電力消費の用途分析を行った。

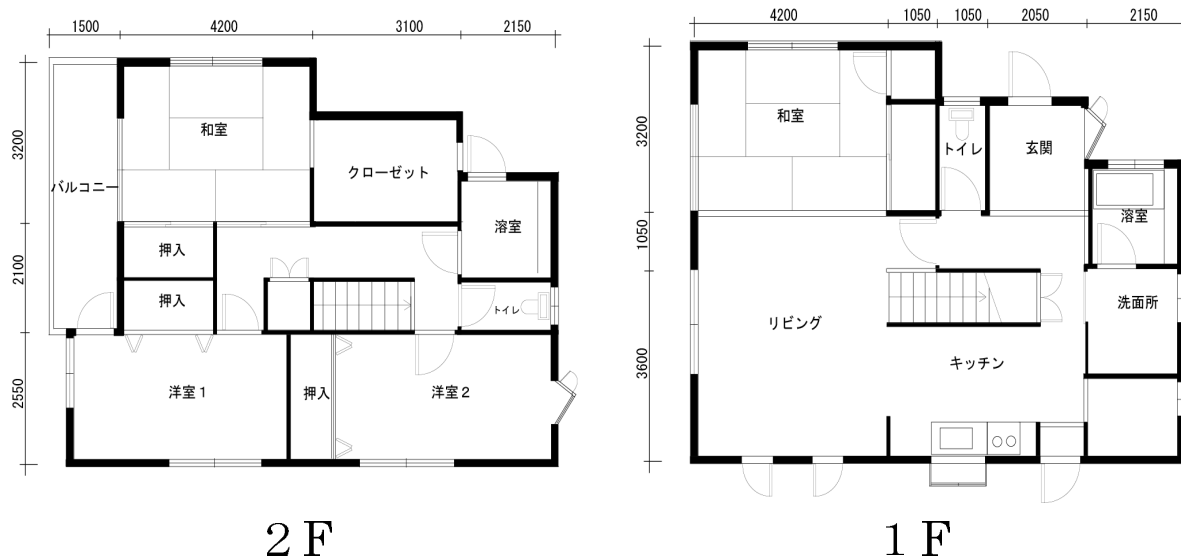


図 2.14 GE01 邸平面図

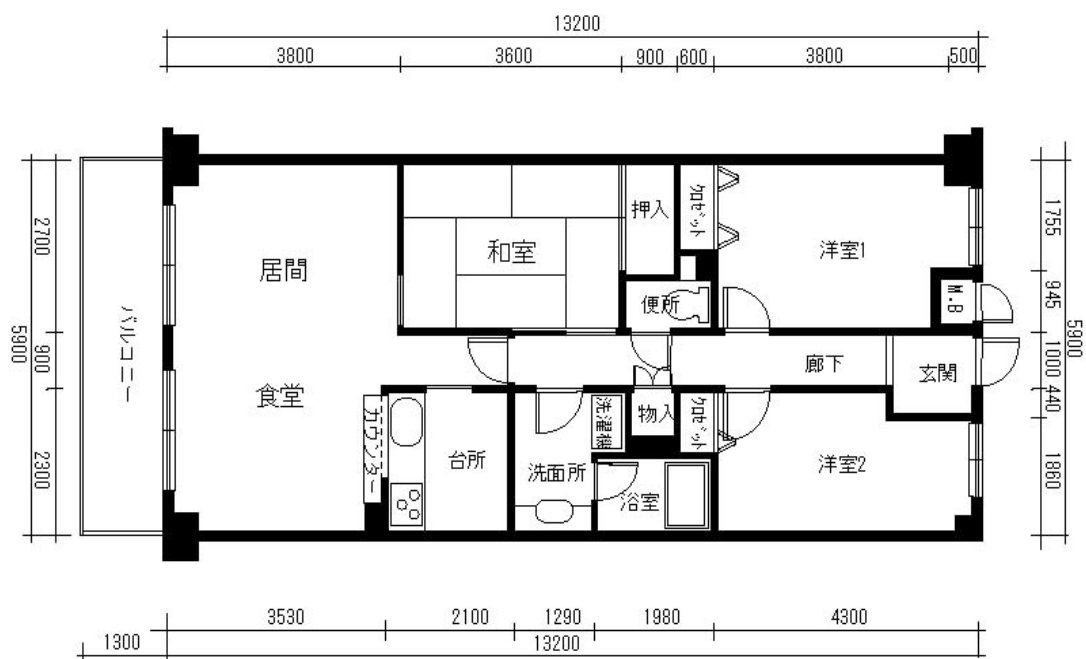


図 2.15 GE02 邸平面図

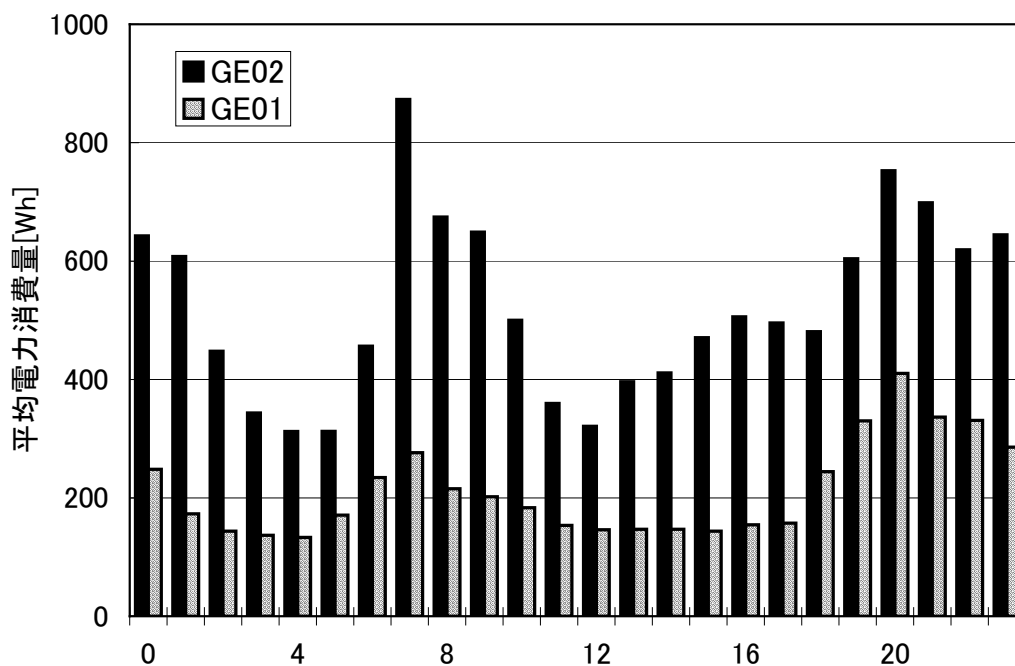


図 2.16 GE01 及び GE02 における 2003 年 5 月の平均電力消費量の 1 日の変化

2.6.4 電力消費の用途別分解

2003 年 5 月において GE01 の平均電力使用量に較べて、GE02 における電力消費量が 1 日を通して大きい原因を探るために、それぞれの住宅における電力消費の用途別分解を行った。

図 2.17、2.18 に、GE01、GE02 の 2003 年 5 月における単位床面積あたりの電力消費（各時間帯の 1 時間平均）を、テレビ・ビデオ、照明、冷蔵庫、待機成分、その他の用途別に分解した結果を示す。

(1) 用途別電力消費の推移

図 2.17 によると、GE01 では、深夜から早朝にかけては、冷蔵庫及び待機成分が主たる消費の要因となっている。在宅者が起床する 5 時ごろから電力消費は増加するが、家人が外出する 8 時以降は負荷が減少する。家人の帰宅する 17 時以降は再び消費量が大きくなってゆくが、夜間の消費の主たる要因は照明と冷蔵庫である。GE01 においては、照明、冷蔵庫及び待機成分が電力消費の主たる原因であると言える。

一方、図 2.18 の GE02 では、1 日を通して $4.4\text{W}/\text{m}^2$ 以上使用されている。単位床面積あたりの照明用電力は、GE01 の $0.27\text{kWh}/\text{month} \cdot \text{m}^2$ に対して、GE02 は $0.75\text{kWh}/\text{month} \cdot \text{m}^2$ と 3 倍近い。これは、日中の在宅者が有ることによるものである。

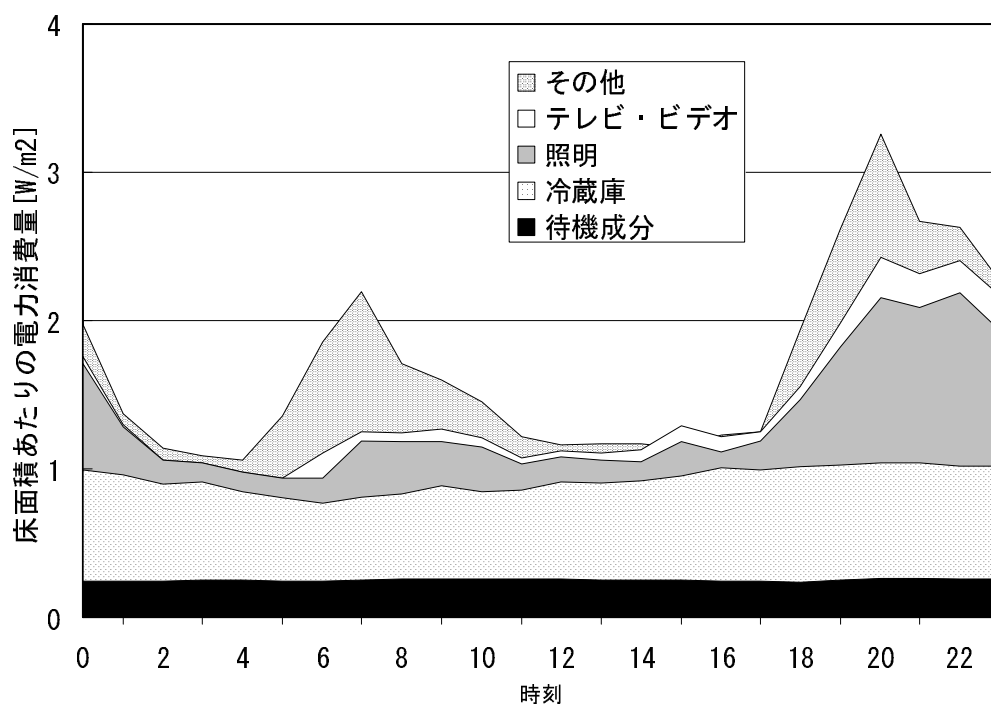


図 2.17 GE01 における電力用途別分解 (2003 年 5 月の 1 ヶ月平均)

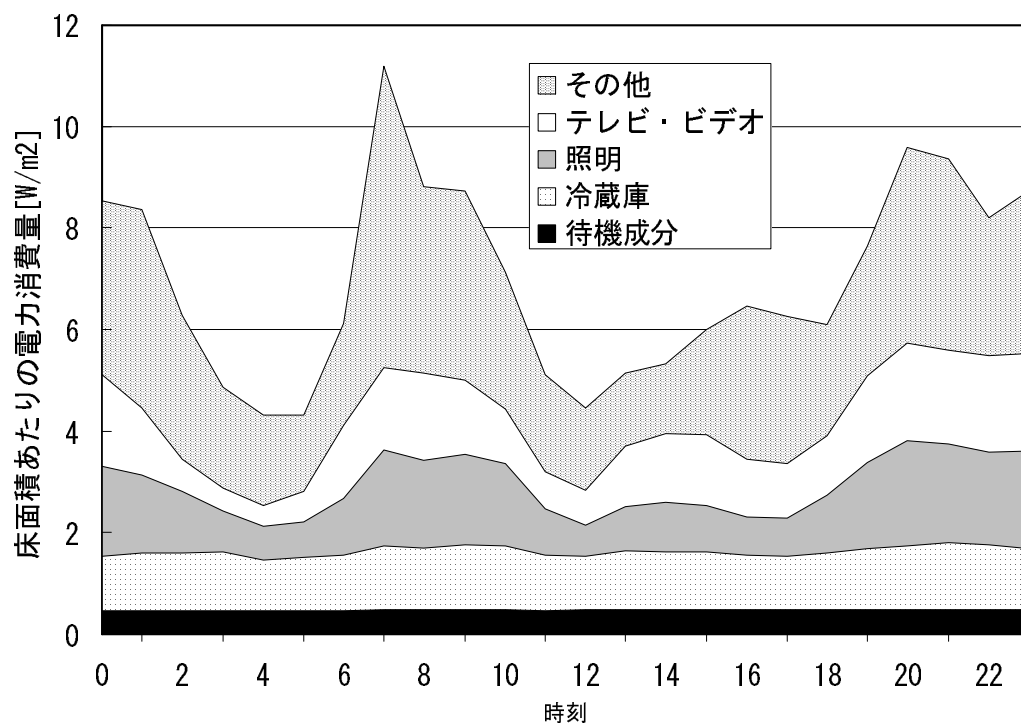


図 2.18 GE02 における電力用途別分解 (2003 年 5 月の 1 ヶ月平均)

(2) テレビ・ビデオおよび照明の使用時間

テレビ・ビデオ及び照明用電力の使用時間を図 2.19、2.20 に示す。解析対象としたのは、テレビのある部屋（GE01 では 1 F リビング、GE02 では居間・食堂）で、各時刻の 1 時間あたりのテレビ平均使用時間と照明平均使用時間を示す。GE01 では、照明は午前 6～7 時に小さなピークを、夜間の 18 時以降に大きなピークを有し、テレビは夜にピークを有している。一方 GE02 では、照明は午前 6～9 時と夜間 18 時以降に大きなピークを示し、テレビは朝、昼、夜と 3 つのピークを有している。

テレビ及び照明の 1 日あたりの総使用時間で較べると、GE01 の照明 451 分/日、テレビ 237 分/日に対して、GE02 では照明 750 分/日、テレビが 756 分/日となり、生活パターンの違いに対応して、使用時間にも大きな差があることが分かる。

(3) テレビ・ビデオおよび照明の使用時間の季節変化

この中間期に見られるテレビ、照明の使用の違いが他の季節ではどのようなになっているのかを調べるために、冬期として 12 月、夏期として 8 月における両宅のテレビ及び照明の各時刻 1 時間あたりの使用時間を図 2.21～2.24 に示す。

テレビの使用時間に関しては、夏期・冬期・中間期で大きな違いはない。すなわち、GE01 は朝の短いピークと夜間の大きなピークを有する 2 山構成である。これに対して、GE02 では深夜（早朝）の時間帯を除きほぼ終日テレビが使用されている。

リビングにおける照明の使用状況に関しては、中間期・夏期・冬期で使用パターンに違いは見られない。すなわち、GE01 では朝の短いピークと夜間の大きなピークの 2 山構成であるのに対し、GE02 では朝と夜に大きなピークがあり、昼にも少なくない照明の使用がある。

このように、GE02 は GE01 よりも長時間テレビを視聴しているといえる。また照明に関しては、夜間は GE01 も GE02 も使用するが、朝及び昼の使用状況は大きく異なっており、GE02 では昼においても照明の使用がある。このような照明やテレビの使用状況の違いが GE01 と GE02 における電力消費の差の大きな割合を占めている。

(4) 他の住宅におけるテレビ・ビデオおよび照明の使用時間の季節変化

同様のことが昼間に在宅者がいる住宅で見られるか調べた。解析対象としたのは、図 2.13 で、比較的エネルギー消費が大きいグループに属し、かつ昼間の在宅者が存在する EE0 1 と GE08、使用が平均的な住宅で同じく在宅者のいる GE04 である。これらの住宅におけるリビングにおける照明とテレビの使用状況を図 2.25～2.27 に示す。GE02 に較べて、3 軒の住宅のテレビ使用時間は短い。しかし、EE01 と GE08 の日中の照明使用時間は GE01 ほど短くない。一方、GE04 では、GE01 より照明の使用は多いが、他の住宅ほどの使用しておらず、テレビ使用時間も他の 2 軒の住宅に較べて少ない。すなわち、昼間の在宅者の電力の使用状況は、エネルギー消費に大きな影響を与えることがわかる。

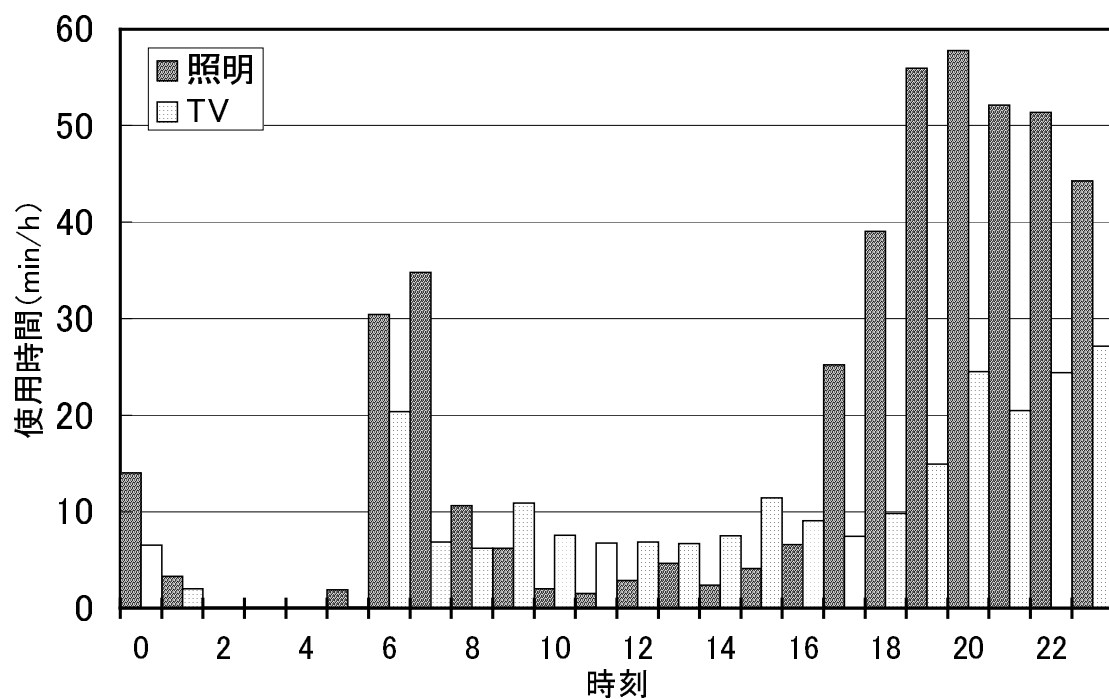


図 2.19 GE01 におけるテレビ及び照明の 1 時間あたりの使用時間
(2003 年 5 月の 1 ヶ月平均)

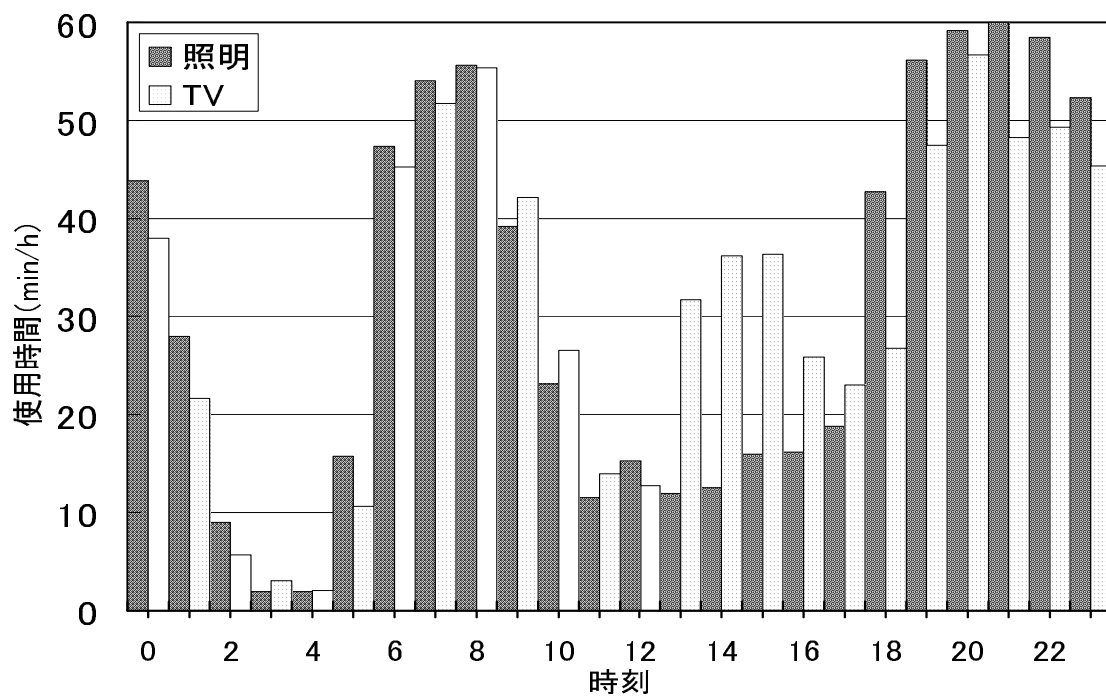


図 2.20 GE02 におけるテレビ及び照明の 1 時間あたりの使用時間
(2003 年 5 月の 1 ヶ月平均)

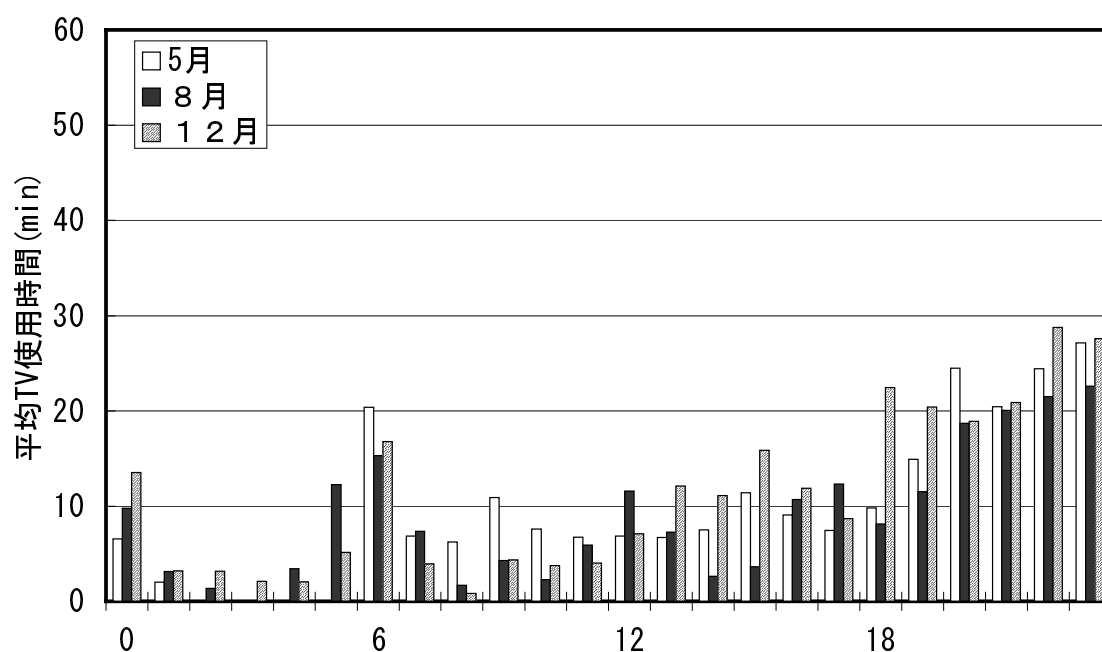


図 2.21 GE01 におけるテレビの1時間あたりの使用時間
(2003年5月、8月、12月の1ヶ月平均)

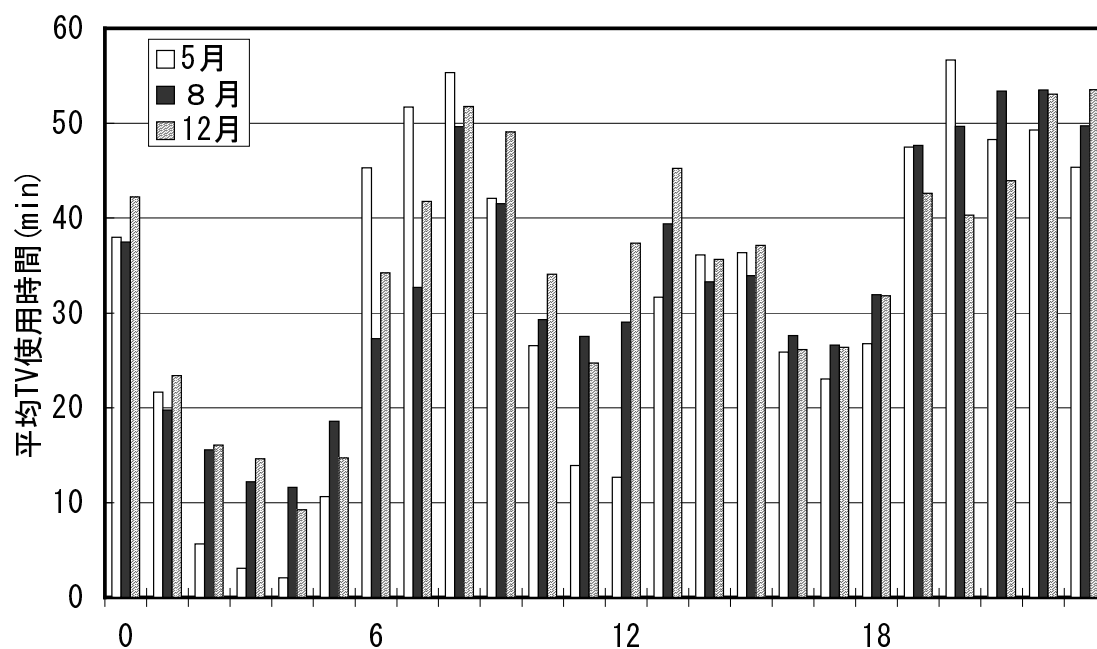


図 2.22 GE02 におけるテレビの1時間あたりの使用時間
(2003年5月、8月、12月の1ヶ月平均)

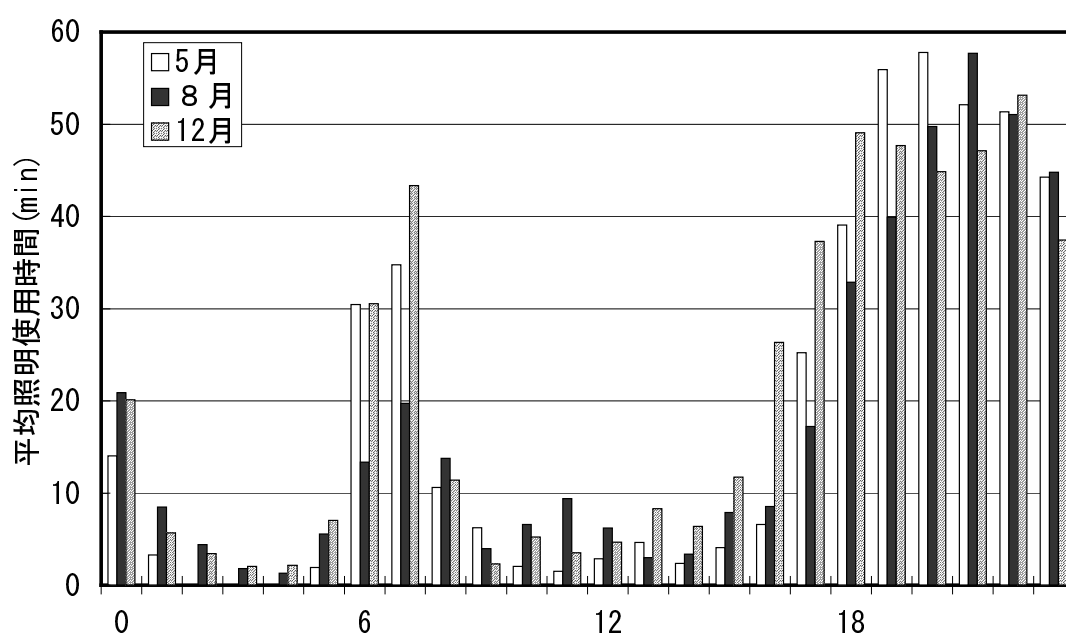


図 2.23 GE01 におけるリビング照明の 1 時間あたりの使用時間
(2003 年 5 月、8 月、12 月の 1 ヶ月平均)

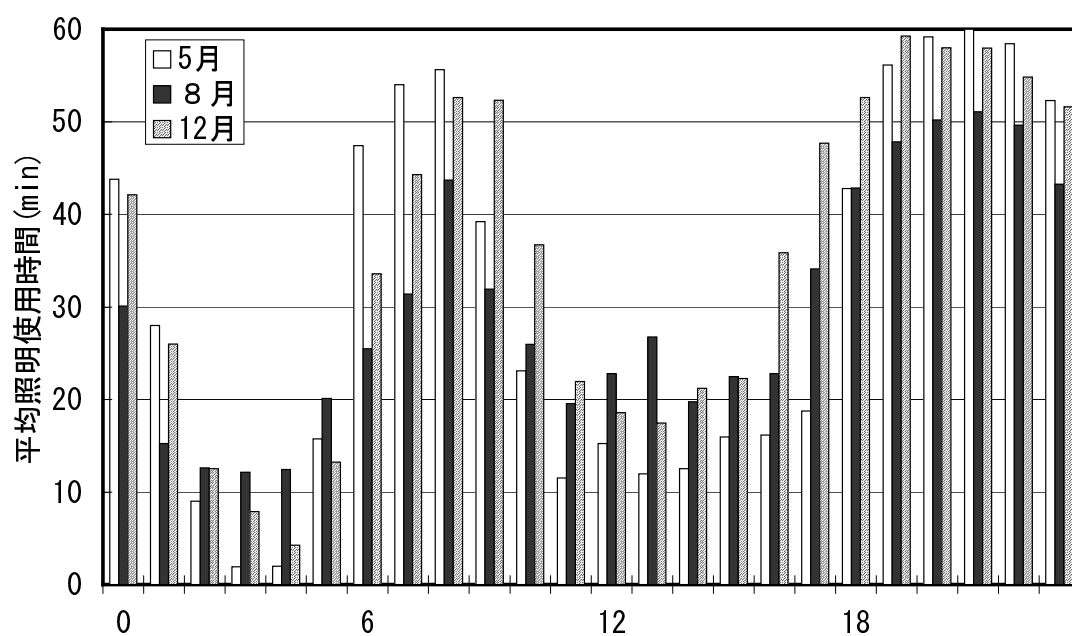


図 2.24 GE02 におけるリビング照明の 1 時間あたりの使用時間
(2003 年 5 月、8 月、12 月の 1 ヶ月平均)

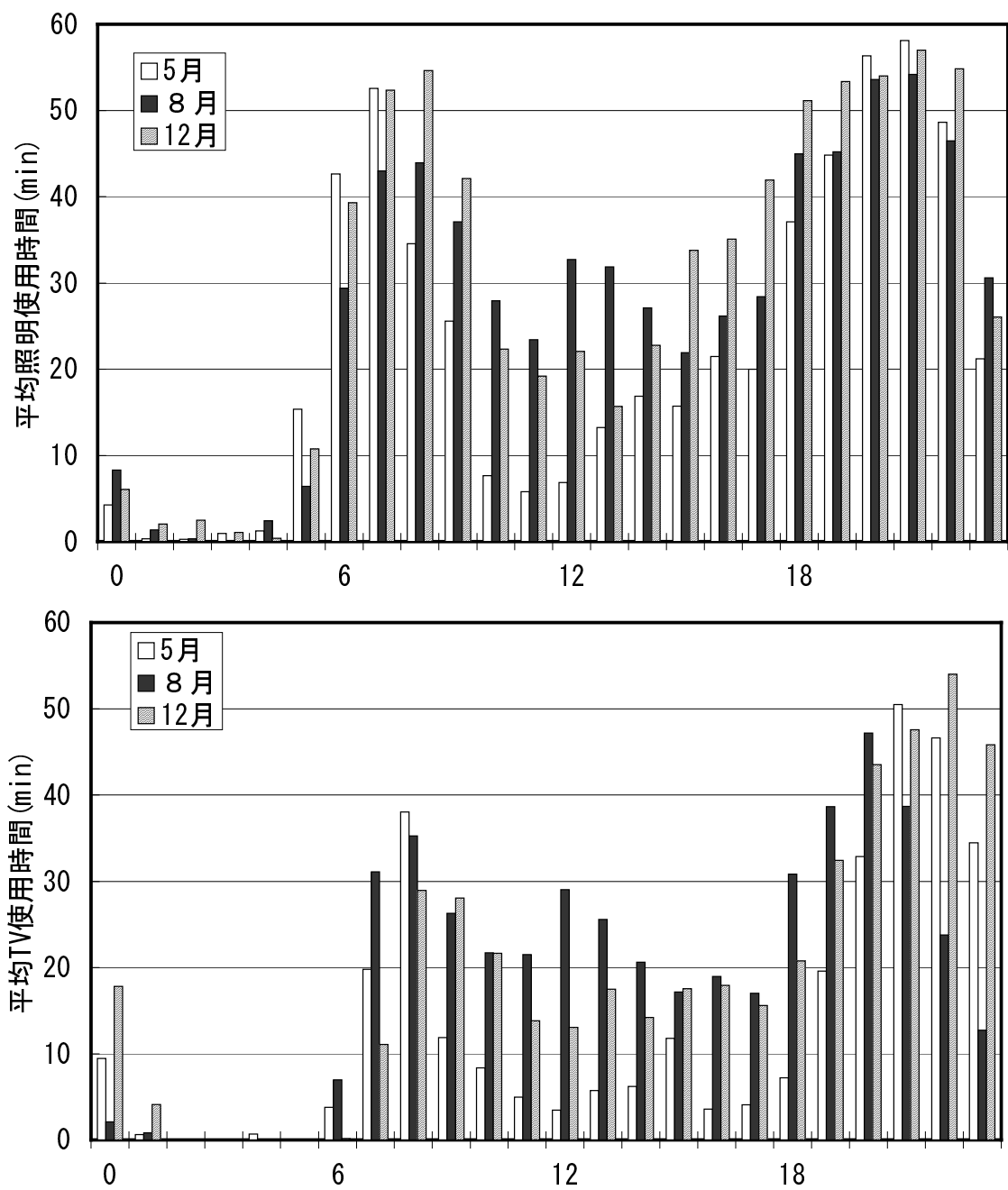


図 2.25 EE01 におけるリビング照明の 1 時間あたりの使用時間 (上図)
 およびリビングのテレビの 1 時間あたりの使用時間 (下図)
 (2003 年 5 月、8 月、12 月の 1 ヶ月平均)

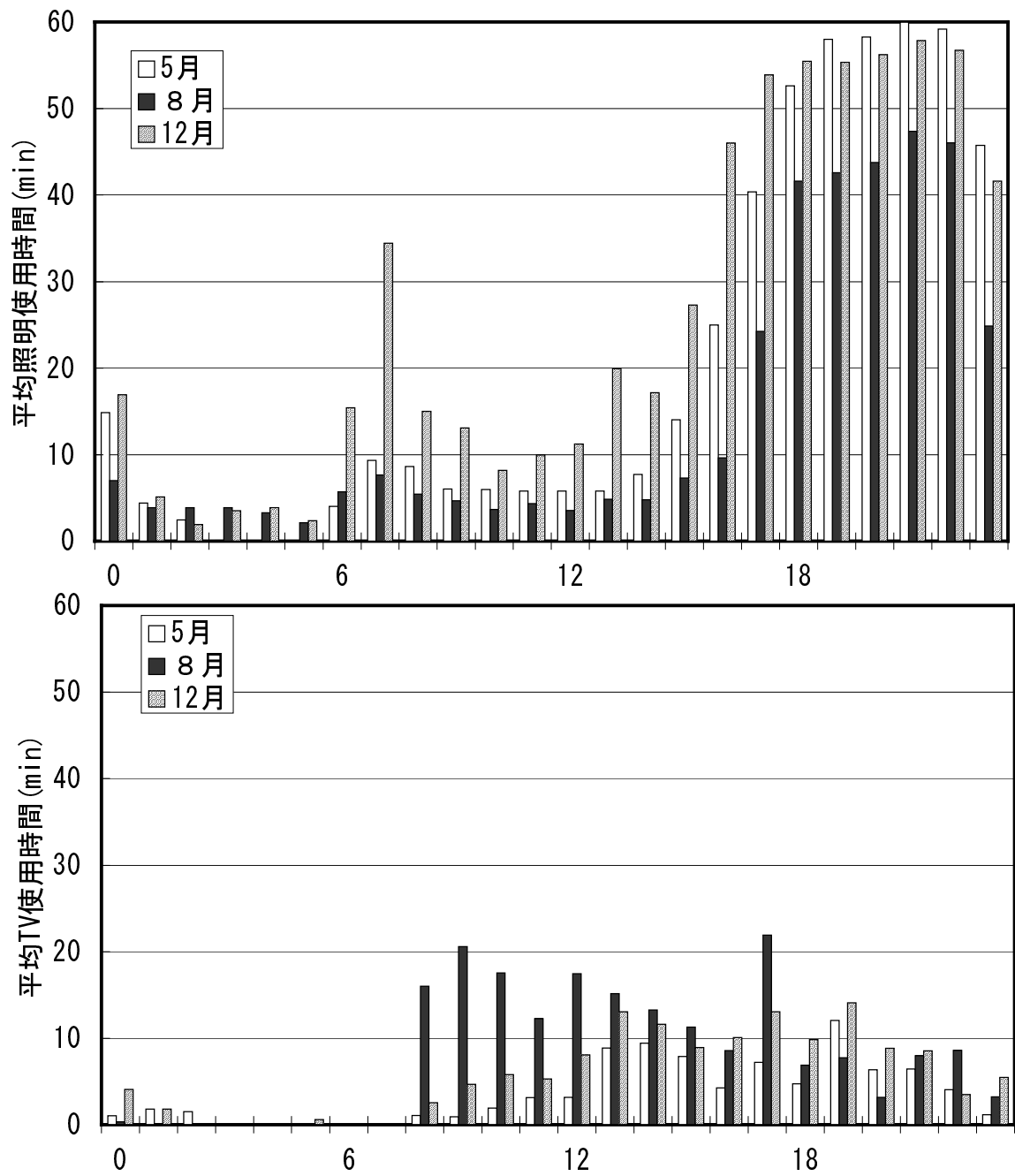


図 2.26 GE04 におけるリビング照明の 1 時間あたりの使用時間（上図）
 およびリビングのテレビの 1 時間あたりの使用時間（下図）
 （2003 年 5 月、8 月、12 月の 1 ヶ月平均）

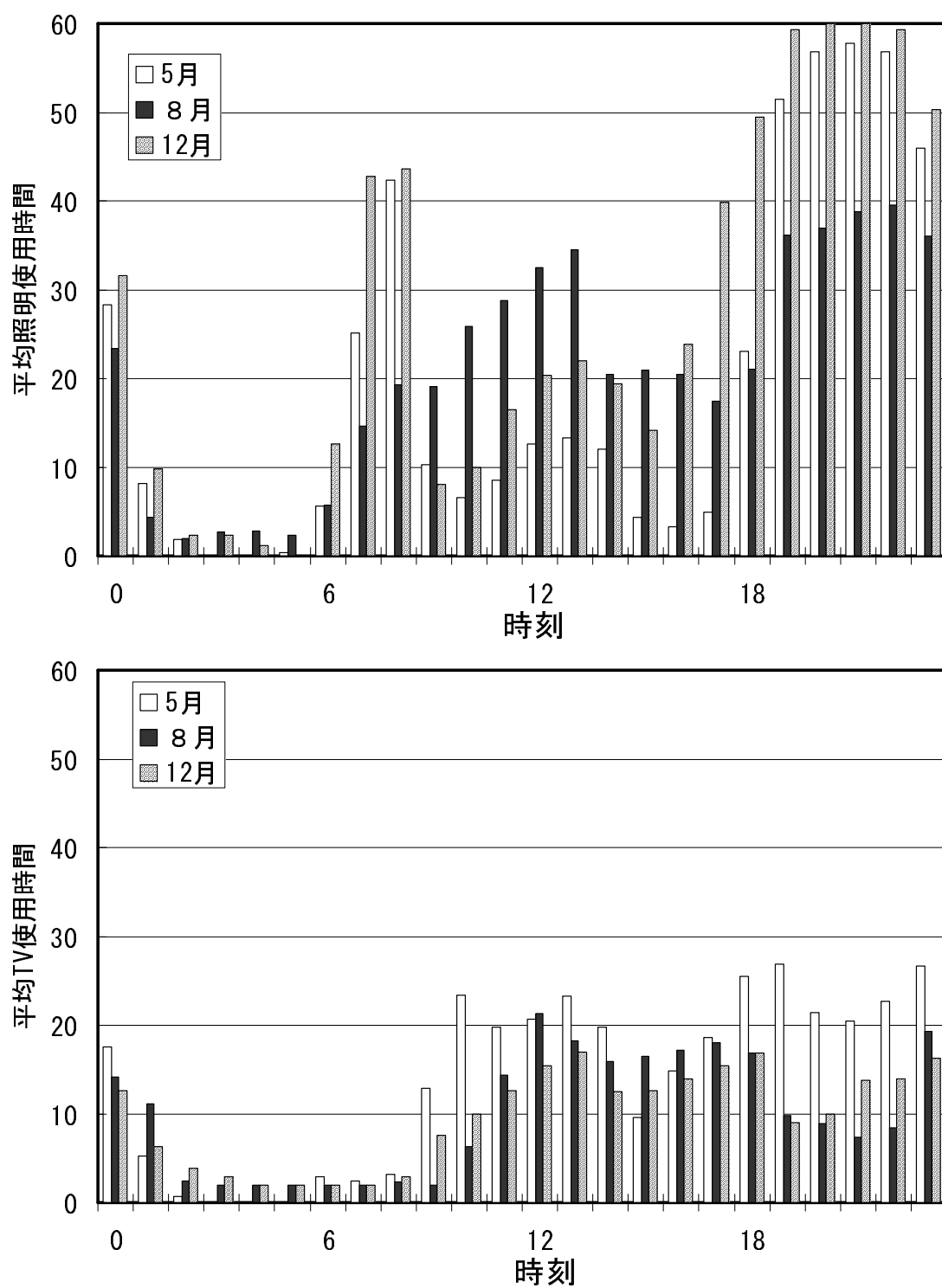


図 2.27 GE08 におけるリビング照明の1時間あたりの使用時間（上図）
 およびリビングのテレビの1時間あたりの使用時間（下図）
 （2003年5月、8月、12月の1ヶ月平均）

(5) 機器別電力使用量

図 2.17 及び 2.18 に示したように、GE02 では、その他用途の電力使用も消費の大きな割合を占めている。そこで、GE01 及び GE02 の電気機器別の電力消費分析を行った。その結果を図 2.28 及び 2.29 に示す。GE01 では冷蔵庫や照明が電力消費の大きな要因であるが、GE02 では、照明に続いてテレビ等の使用も大きく、また電気式ポットによる消費も大きい。この電気ポットは図 2.30 に示すように、ベースの電力消費が 50W で、ほぼ 24 時間使用されており、これが月間電気使用量の 10 % 程度を占めている。もし現在使用している電気ポット（湯沸し 950W、保温 50W）を、省エネ型電気ポット（湯沸し 905W、保温 12W）に置き換えると、月間で全電力量の 8 % の電力が削減されると予測される。

GE02 では待機電力が 30kWh/月程度あるが、GE01 では 12kWh/月と GE02 の半分以下であった。GE01 への聞き取り調査によると、テレビを含め、家電機器を使用しないときにはコンセントからプラグを外す等の処置を習慣的にしているとのことであった。従って、GE01 においては、テレビ・オーディオ・ビデオ等は使用時以外は電源から切り離されているため、これらの機器からは待機電力は発生せず、電話等の電源を切ることができない機器のみが常時通電されていた。更に GE01 へのヒアリングによると、冬期においては半日程度の外出時には冷蔵庫の電源も落とすなどの努力をしているとのことであった。

(6) GE01 と GE02 の電力消費の削減行動に関するまとめ

GE01 では機器の買い替え無しに可能な範囲で、待機電力を抑制するための努力がなされており、これが GE01 の待機電力の少なさに繋がっているといえる。このように、GE01 と GE02 は同程度の家族構成・年収で、居住地は相互に近接しているが、電力消費に対する意識の違い、日中の居住者の有無とその生活行動の違いにより、電力消費に大きな違いが見られたものと推測される。

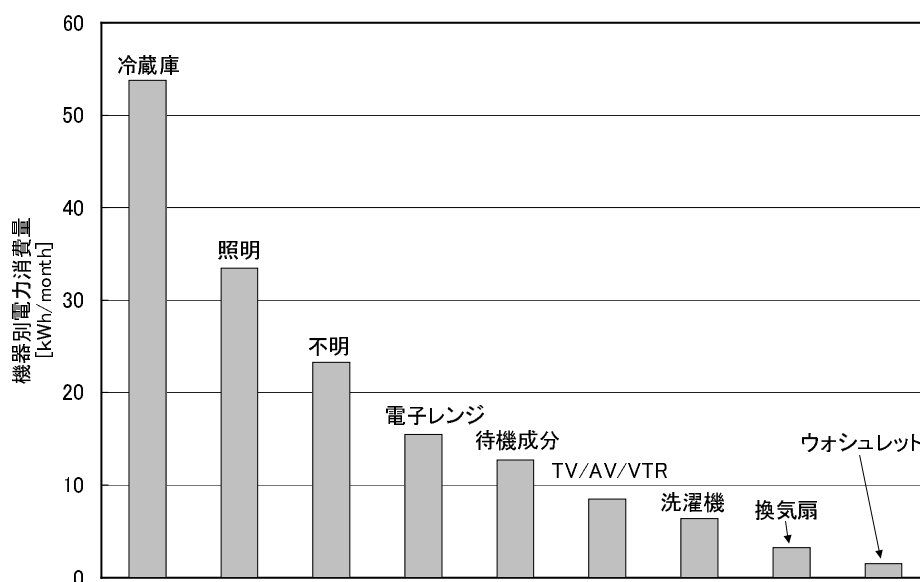


図 2.28 GE01 における機器別電力消費

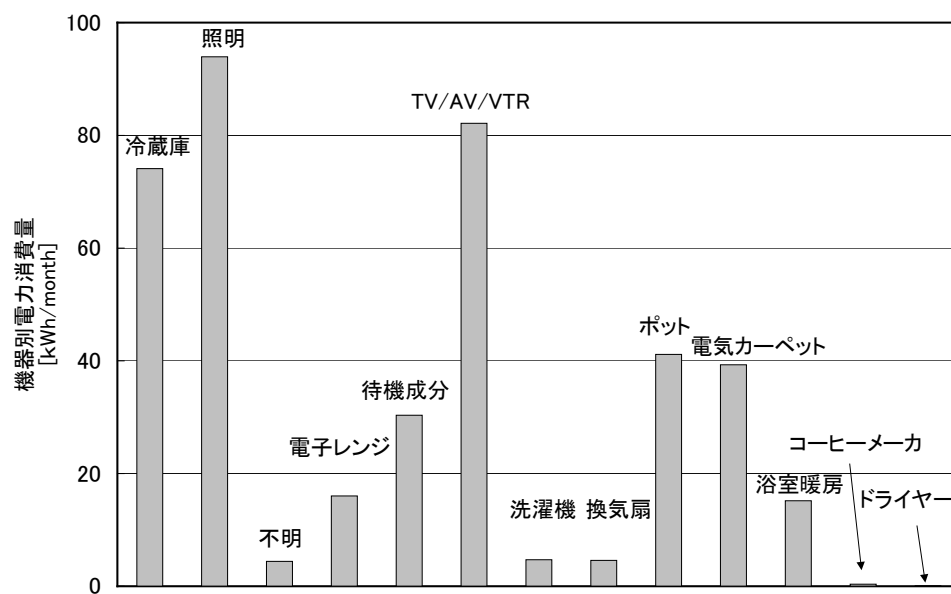


図 2.29 GE02 における機器別電力消費

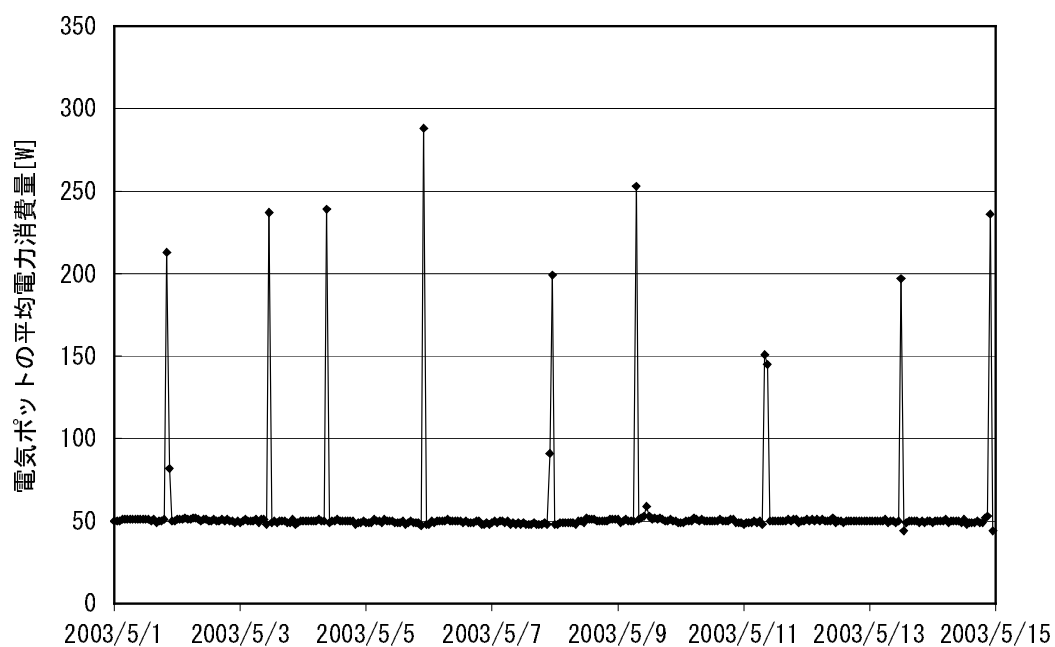


図 2.30 電気ポットの電力消費状況 (GE02)
(2003/5/1 ~ 2003/5/14)

(7) 他の地域における昼間の在宅者の有無に伴う電力消費の差異

中間期の電力消費の用途別分解により、昼間の在宅者の有無による中間期における電力消費の差異が明らかとなったので、他の地域においても同様の傾向が見られるか調べた。関西地区の13軒のモニター宅に加えて、表2.9に示すように、同時期に同様のエネルギー計測を行った関東地区及び九州地区の住宅¹⁾19軒を加えた32軒の住宅を対象にして、中間期における電力消費状況について、図2.31及び2.32にまとめた。図2.32(同図ラベル無し図2.33)に示すように、昼間の在宅者が存在する住宅は、昼間の在宅者のいない住宅に較べて、電力消費が大きくなる傾向にあるといえる。これは、昼間の電気の使い方が1日の電力消費状況に与える影響は小さくないことを意味している。

表 2.9 モニターに関する情報(関東・関西・九州地区)

	居住地域	モニター名	建築年	構造	床面積 (m ²)	家族構成	家族人数	昼間の居住者有無
EE01	関西	EE01	1998	戸建	111.5	大人2人子供2人	4	有
EE02	関西	EE02	2000	戸建	97	大人3人子供2人	5	有
EE03	関西	EE03	2001	戸建	158.8	大人2人子供3人	5	有
EE04	関西	EE04	2000	戸建	118	大人2人子供2人	4	有
EE05	関西	EE05	2000	集合	88.4	大人2人	2	無
EE06	九州	EE06	2002	戸建	134.7	大人2人	2	有
EE07	九州	EE07	2001	戸建	156.22	大人2人子供3人	5	有
EE08	九州	EE08	2000	戸建	157.29	大人2人子供2人	4	有
EE09	九州	EE09	2002	戸建	145.74	大人2人子供2人	4	有
EE10	関東	EE10	2002	戸建	92	大人2人子供1人	3	有
EE11	関東	EE11	2001	戸建	106	大人2人子供2人	4	有
EE12	関東	EE12	2002	戸建	132	大人2人	2	無
EE13	関東	EE13	1994	集合	80	大人2人子供1人	4	有
EE14	関東	EE14	1994	集合	80	大人2人子供1人	3	有
GE01	関西	GE01	1999	戸建	125.8	大人2人子供2人	4	無
GE02	関西	GE02	1995	集合	84.9	大人2人子供2人	4	有
GE03	関西	GE03	1996	集合	76.2	大人2人子供2人	4	無
GE04	関西	GE04	1997	集合	110	大人2人子供2人	4	無
GE05	関西	GE05	1990	戸建	115.2	大人4人	4	有
GE06	関西	GE06	1991	戸建	124.8	大人3人	3	無
GE07	関西	GE07	1984	戸建	139	大人2人	2	有
GE08	関西	GE08	2000	戸建	143.6	大人2人子供3人	5	有
GE09	九州	GE09	1998	戸建	132.66	大人2人子供2人	4	無
GE10	九州	GE10	2001	戸建	158.9	大人2人	2	無
GE11	九州	GE11	1996	集合	72.6	大人2人子供4人	6	有
GE12	九州	GE12	1996	集合	72.6	大人2人子供2人	4	有
GE13	関東	GE13	2002	戸建	105	大人2人子供2人	4	有
GE14	関東	GE14	2001	戸建	90	大人2人子供1人	3	無
GE15	関東	GE15	2002	戸建	108	大人4人子供2人	6	有
GE16	関東	GE16	2000	戸建	240	大人2人子供2人	3	有
GE17	関東	GE17	2000	集合	72	大人2人子供1人	3	無
GE18	関東	GE18	1994	集合	90	大人2人子供1人	3	有

:昼間居住者有

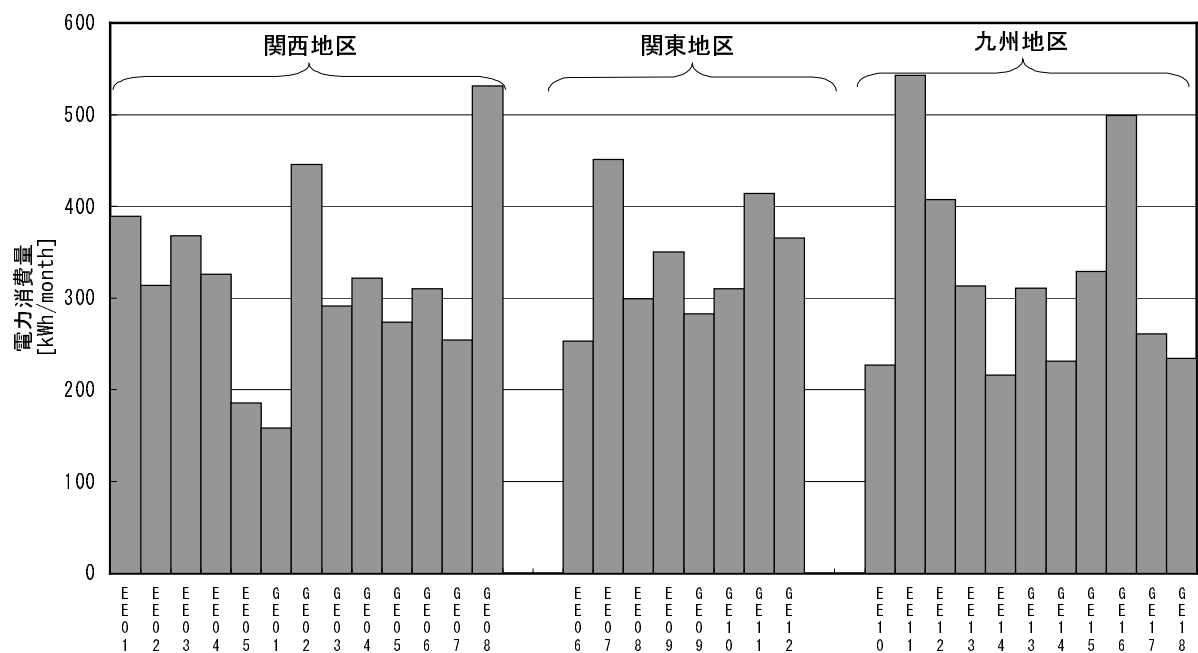


図 2.31 関東・関西・九州地区における 2003 年 5 月の電力消費量
(給湯・調理分を除く)

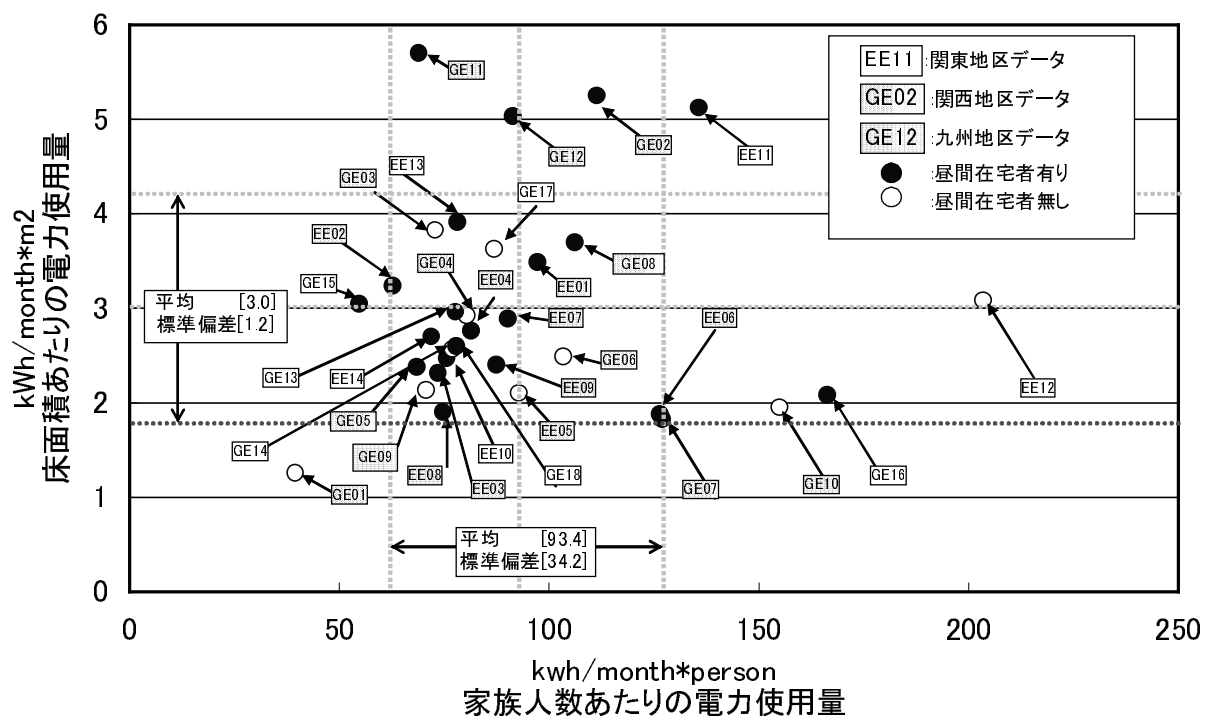


図 2.32 関東・関西・九州地区における昼間の在宅者の有無による電力消費量の分類
(2003 年 5 月の電力消費量に基づく。ただし、給湯・調理分を除く)

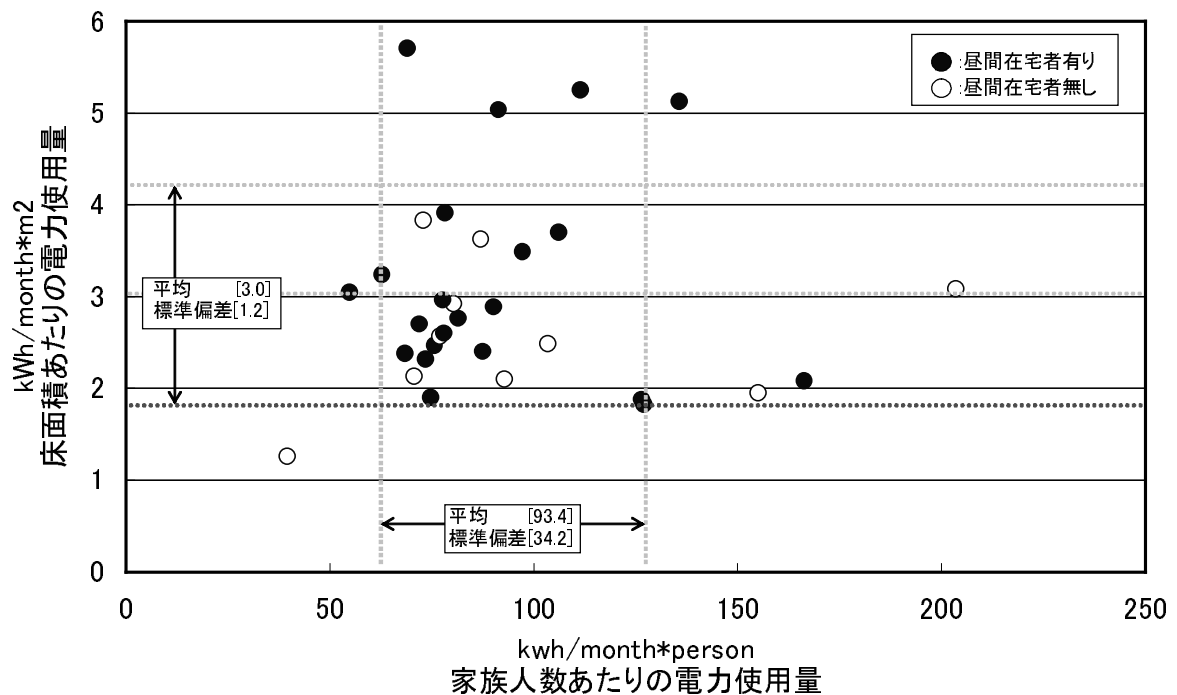


図 2.33 関東・関西・九州地区における昼間の在宅者の有無による電力消費量の分類
(2003 年 5 月の電力消費量に基づく。ただし、給湯・調理分を除く) (注：図 2.32 の表示無)

2.7 考察

前節では、「住宅面積」や「家族構成人数」を統一し、関西地区 13 軒の住宅におけるガス・電気・灯油の消費について測定を行った結果をまとめた。

測定住宅の中から、年間エネルギー消費量をもとに 7 軒の住宅を選定してエネルギー消費の解析を行った。各住宅のエネルギー消費を用途別（給湯、暖冷房・換気、厨房、娯楽・情報、照明、冷蔵庫、家事・衛生及びその他）に分類した結果、大部分の住宅において、全エネルギー消費に占める給湯用エネルギー消費が最も多く、これに暖冷房・換気、照明、冷蔵庫のエネルギー消費が続いていることがわかった。

そこで、本節では、最初に用途別エネルギー使用量の多い給湯及び暖房用エネルギー消費量の削減手法を提案する。また、削減に対して比較的協力が得易いと考えられる家電機器等の電力消費量の削減手法の検討を行うために、電力多消費及び電力少消費の住戸間の電力使用状況、特に中間期における電力使用状況の比較を行った。その結果に基づいて電力消費量の削減手法を提示する。

2.7.1 給湯及び暖房用エネルギー消費の削減

(1) 給湯用エネルギー消費

今回測定したエネルギー消費の用途別使用量の解析結果では、給湯用途が最も大きかった。また、給湯用途のエネルギー消費は、冬期に最大で中間期、夏期の順に小さくなっており、これは既往の研究^{12, 13)}と同様の結果である。

また、測定と同時期に行われたモニター宅へのアンケートによれば、各住宅における入浴方法は季節ごとに多様であることが分かった。例えば、通年浴槽湯張りを行う住宅（例えばEE02）がある一方、夏期には浴槽湯張り入浴を行わない住宅が複数存在し、さらには冬期も浴槽湯張り入浴を殆ど行わない住宅も存在するなど、入浴の仕方も住宅ごとに多様であり、給湯分野でのエネルギー消費の削減は、各住宅ごとに異なった対策が必要であると考えられる。

特に分散電源型給湯システムにおいては、住宅における電気と給湯負荷の多様性の観点から、効率的なシステム運用方法について各種の検討がなされている^{14, 15, 16)}が、入浴状況の多様性に関する考慮はなされていない。今後、この入浴状況の多様性に対する運用上の考慮が必要になるものと考えられる。

また、本研究におけるアンケート調査や長谷川¹⁰⁾らのアンケート調査にも示されているように、給湯分野での自発的な省エネ行動への協力は得られにくい。このことから、給湯に関するエネルギー消費削減策については、まず給湯器設備面からのアプローチによるエネルギー削減が有効であると考えられる。設備面からの省エネアプローチとしては、太陽熱温水器や自然冷媒を用いたヒートポンプ式給湯器、潜熱回収型ガス給湯器等に加えて、固体高分子型燃料電池（PEFC）等の分散電源型給湯システム等、多様な高効率給湯器が消費削減策として導入されているが、このような給湯器の効率向上に加え給湯使用量そのものの削減も今後重要になるものと考えられる。しかし、給湯使用量削減の為に入浴行動を強制的に変更することは、居住者が拒否する可能性が高い。よって、居住者が自発的に入浴行動を変えるような手法の開発が重要である。その手法の一つとして、例えば高橋ら¹⁷⁾のような住宅内の温熱環境制御による削減誘導等が考えられ、入浴行動に影響を与える住宅内の温熱環境についての検討も必要であると思われる。これについては第6章で検討する。

(2) 暖房用エネルギー消費

冬期における温熱環境に関して、EE02及びGE02は無暖房時に不満を感じているが、暖房を行えば全ての住宅において不満はない。EE02とGE02を除いた住戸では、エアコンによる暖房が行われていた。エアコンによる暖房を行っていないEE02では、石油ファンヒータ及びコタツが、GE02ではガスファンヒータ及び電気カーペットが使用されている。

暖房用のエネルギーに関しては、GE08及びGE03が他の住宅よりも多く使用している。暖房器具使用状況に関するアンケートによれば、GE08とGE03では他の住宅と同じようにエアコン暖房も行っているが、ガス式床暖房を主たる暖房として行っている。これは、「床暖房を主たる暖房とするのは空気が汚れないから」を理由としている。床暖房を主たる暖房として利用していることが、暖房用のエネルギー消費が他の住宅に較べて大きくなった原因の一つと考えられる。

2.7.2 暖冷房以外の電力消費に対して在宅者のライフスタイルが及ぼす影響

7軒の住宅におけるアンケート結果によれば、テレビなどの家電機器の“つけっ放し”をやめるという省エネ協力は比較的容易であるといえる。しかし、夏期の冷房及び冬期の暖房に関しては、“多少なら協力できる”であり、給湯に関しては、特に冬期の給湯に関しては“あまり協力できない”の回答が大部分である。これは長谷川ら¹⁰⁾のアンケート結果でも同様であり、給湯の省エネに関しての自主的な省エネ行動は難しいと言える。また、エネルギー消費量の表示装置の導入に関しては、装置導入への積極的な回答はなく、省エネナビの普及の難しさが推察される。

(1) 電力多消費住宅と電力少消費住宅

暖冷房以外の電力消費に対して在宅者のライフスタイルが及ぼす影響を検証するため、暖冷房負荷が存在しない中間期の電力消費に着目した。その為に、今回測定した13軒の住宅から電力消費が最大の住宅と最小の住宅を抽出し、両住宅のライフスタイルの比較を行った。

なお、今回測定した住宅は、床面積や居住者の数はある程度近くなるように選択したが、住戸間で異なる。これらが異なると、導入される電気機器の数や照明器具の設置数が異なるために、住戸間の電力消費量の比較は難しくなる。そこで、家族人数当りの電力消費と、床面積当りの電力消費を尺度として、各住戸間の電力消費量を比較した。このような評価により、家族人数や床面積の割にエネルギー消費が多い住宅を選定した。

この2軸による関西13軒の比較によれば、測定値はGE04(80.4[kWh/月*人]、2.56[kWh/月*m²])回りに集中しているが、GE02は他の住宅よりも電力消費が大きく、GE01のほぼ5倍となっていた。GE01とGE02は、近接した地域に存在し、家族構成や年間所得もほぼ同じである。GE01は共働きの家庭のため、平日の昼間(9時から18時頃まで)は大人の在宅者はいないが、GE02では専業主婦が在宅しているという特徴があった。そこで、2軒の住宅における電力消費の違いを探るため、それらの住宅の2003年5月における単位床面積あたりの電力消費(各時間帯の1時間平均)について、テレビ・ビデオ、照明、冷蔵庫、待機電力成分、その他の用途別に分解した結果をまとめるとともに、電力消費量の削減手法について検討した。

(2) GE01とGE02における電力消費の推移の特徴

GE01では、深夜から早朝にかけては、冷蔵庫及びベース電力が主たる消費の要因となっている。在宅者が起床する5時ごろから電力消費は増加するが、家人が外出する8時以降は負荷が減少する。家人の帰宅する17時以降は再び消費量は大きくなるが、夜間の消費の主たる要因は照明と冷蔵庫である。GE01においては、照明、冷蔵庫及び待機電力成分が電力消費の主たる原因であると言える。

一方、GE02では、1日を通して4.4W/m²以上使用されている。単位床面積あたりの照明用電力は、GE01の0.27kWh/月*m²に対して、GE02では0.75kWh/月*m²と3倍近い。これは、日中の在宅と密接に関係していると言える。

(3)GE01 と GE02 におけるテレビ・ビデオおよび照明の使用時間

テレビのある部屋（GE01では1Fリビング、GE02では居間・食堂）について、各時刻の1時間あたりのテレビ平均使用時間と照明平均使用時間の住戸間比較を行った。GE01では、照明は午前6～7時に小さなピークを、夜間の18時以降に大きなピークを有し、テレビは夜にピークを有している。一方GE02では、照明は午前6～9時と夜間18時以降に大きなピークを示し、テレビは朝、昼、夜と3つのピークを有している。テレビ及び照明の1日あたりの総使用時間で較べると、GE01の照明451分/日、テレビ237分/日に対して、GE02では照明750分/日、テレビが756分/日であり、生活パターンの違いに対応して使用時間に大きな差がある。

また、中間期だけでなく、他の時期におけるに見られるテレビ、照明の使用時間の違いを調べるために、冬期12月、夏期8月における両住戸のテレビ及び照明の各時刻1時間あたりの使用時間の比較を行った。両住宅において、夏期・冬期・中間期におけるテレビの使い方に大きな変化はなかった。同様に、リビングにおける照明の使用状況に関しても、中間期・夏期・冬期で違いは見られなかった。

以上より、GE02はGE01よりも長時間テレビを視聴していた。照明に関しては、夜間はGE01もGE02も使用するが、朝及び昼の使用状況は大きく異なっていた。

(4) 他の住宅におけるテレビ・ビデオおよび照明の使用時間の季節変化

昼間の在宅者の有無と照明及びテレビの使用時間の関係に関して、他の住宅について調べた。解析対象としたのは、比較的エネルギー消費が大きいグループに属し、かつ昼間の在宅者が存在するEE01とGE08、使用が平均的な住宅で同じく在宅者のいるGE04である。リビングにおける照明とテレビの使用状況を比較した。その結果、GE04は他の3軒の住宅に較べてテレビ使用時間及び照明の使用時間が短いことが分かった。

よって、昼間に在宅者がいる住宅における照明及びテレビの使い方は、1日の電力消費量に大きな影響を与える可能性がある。

(5)GE01 と GE02 における機器別電力使用量

GE02では、その他用途に分類される電力消費量も大きな割合を占めていた。そこで、GE01及びGE02の電気機器別の電力消費分析を行った結果、GE01では冷蔵庫や照明が電力消費の大きな要因であり、GE02では照明に続いてテレビ等の使用も大きく、また電気式ポットによる消費も大きいことが分かった。

なお、GE02の電気ポットの電力消費は、ベースの電力消費が50Wで、ほぼ24時間使用されており、これが月間電気使用量の10%程度を占めていた。もし現在使用している電気ポット（湯沸し950W、保温50W）を、省エネ型電気ポット（湯沸し905W、保温12W）に置き換えると、月間で全電力消費量の8%の電力が削減されることになる。

(6)GE01 と GE02 の待機電力消費の削減行動

GE02 では待機電力が 30kWh/月程度あるが、GE01 では 12kWh/月と GE02 の半分以下である。この待機電力に関する削減行動について GE01 への聞き取り調査を行ったところ、テレビを含め、家電機器を使用しないときにはコンセントからプラグを外す等の処置を習慣的にしているとのことであった。更に GE01 によると、冬期においては半日程度の外出時には冷蔵庫の電源も落とすなどの努力をしているとのことであった。このような積極的な待機電力削減行動の結果、GE01 における待機電力は GE02 に較べて半分程度となっている。

(7) 他の地域における昼間の在宅者の有無に伴う電力消費の差異

中間期の電力消費の用途別分解により、昼間の在宅者の有無が中間期における電力消費に及ぼす影響の大きいことが明らかとなったので、他の地域においても同様の傾向がないか調べた。関西地区の 13 軒のモニター宅に加えて、同時期に同様のエネルギー計測を行った関東地区及び九州地区の住宅 19 軒を加えた 32 軒の住宅を対象にして、中間期における電力消費状況について調査した。その結果、昼間の在宅者が存在する住宅では昼間の在宅者のいない住宅に較べて、電力消費が大きくなる傾向があり、昼間の電気の使い方が 1 日の電力消費状況に与える影響は小さくないと言える。

ところで、中村ら^{19, 20)}のアンケートによるエネルギー消費解析では、本調査において測定対象とした 3 人から 5 人世帯では、昼間の在宅者の有無がエネルギー消費に与える影響はないと報告されている。本研究のような実測に基づく調査ではないため、給湯用途などの他のエネルギー使用量の大きな用途にマスクされ、昼間在宅者の有無が電力消費に与える影響を分離できなかったと考えられる。

(8) ライフスタイルを考慮した電力消費量削減手法

中間期における電力消費の解析結果に示されるように、昼間の照明やテレビ等による負荷は電力消費に大きな影響を与えている。昼間在宅者がいる住宅の電力消費を削減するには、昼間のテレビ及び照明の使用時間を減らすことが単純な選択肢であるが、生活スタイルの変更の難しさを考えると、テレビに関しては更新時に消費電力の少ない機器に買い替えることが有効であると思われる。また照明に関しては、発光ダイオード (LED) を使用した高効率照明の導入や、昼光を活用するための住宅の設計における配慮が重要となってくる。

以上、住宅分野における電気の省エネにおいては、1) 採光を考慮した住宅設計 2) ライフスタイルに応じた適切な電気器具の選定 3) 家電機器は不使用時には電源から外す、などの建物・設備面での省エネ対策及び意識付けが重要といえる。

2.8 第 2 章のまとめ

実測結果から、住宅内のエネルギー消費において、冬季の暖房及び給湯用のエネルギー消費量が大きいことが分かった。冬期の暖房に関しては高断熱・高気密化による暖房用エネル

ギー消費の削減の検討^{21, 22, 23)} がなされているが、給湯用途のエネルギー削減に対して居住者の自発的な協力は難しいことが分かった。一方、テレビなどの家電機器の “つけっ放し ” をやめるという行為に関する省エネ協力は容易であるといえ、家電機器の省エネは可能であると考えられる。

そこで、暖冷房以外の電力消費に対して在宅者のライフスタイルが及ぼす影響を調べるために中間期の電力消費に着目し、電力消費が多い住宅と少ない住宅における家電機器使用状況の差異について分析を行った。その結果、居住者のライフスタイル (昼間の在宅・不在など) 及び省エネへの意識がエネルギー消費に与える影響の大きいことを明らかにした。

参考文献

- 1) 村上周三, 坊垣和明, 田中俊彦, 羽山広文, 吉野博, 赤林伸一, 井上隆, 飯尾昭彦, 鉾井修一, 尾崎明仁, 石山洋平: 全国の住宅 80 戸を対象としたエネルギー消費量の長期詳細調査対象住宅の属性と用途別エネルギー消費量, 日本建築学会環境系論文集, 第 603 号, pp.93-100, 2006.5
- 2) 村上周三他: 平成 17 年度 住宅用エネルギー消費と温暖化対策委員会 報告書, 社団法人 日本建築学会, pp.1-22, 2006.3
- 3) 近藤修平, 鉾井修一, ロペス・ルイス, 三浦尚志, 岩前篤: 関西地区における住宅のエネルギー消費に関する調査研究: その 1 エネルギー消費とライフスタイル, 日本建築学会近畿支部研究報告集 (環境系), pp.253-256, 2003.5
- 4) ロペス・ルイス, 鉾井修一, 三浦尚志, 近藤修平, 岩前篤: 関西地区における住宅のエネルギー消費に関する調査研究: その 2 エネルギー消費パターン, 日本建築学会近畿支部研究報告集 (環境系), pp.257-260, 2003.5
- 5) ロペス・ルイス, 鉾井修一, 三浦尚志, 近藤修平, 岩前篤: 関西地区における住宅のエネルギー消費に関する調査研究: エネルギー消費パターン, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海), D-2, pp.1277-1278, 2003.7
- 6) 近藤修平, 鉾井修一, ロペス・ルイス, 三浦尚志, 岩前篤: 関西地区における住宅のエネルギー消費に関する調査研究: エネルギー消費とライフスタイル, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海), D-2, pp.1279-1280, 2003.7
- 7) 三浦尚志, 鉾井修一, 近藤修平: 戸建て住宅における床暖房の性能検証, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海), D-2, pp.199-200, 2003.7
- 8) 近藤修平, 鉾井修一, ロペス・ルイス, 三浦尚志, 岩前篤: 関西地区における住宅のエネルギー消費に関する研究 (その 1), 第 20 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, pp.379-382, 2004.1
- 9) ロペス・ルイス, 鉾井修一, 三浦尚志, 近藤修平, 岩前篤: 冷蔵庫の設置状況や使い方がエネルギー消費に与える影響について, 第 20 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, pp.567-570, 2004.1

- 10) 長谷川善明, 井上隆:全国規模アンケートによる住宅内エネルギー消費の実態に関する研究 世帯特性の影響と世帯間のばらつきに関する考察 その1, 日本建築学会環境系論文集, 第 583 号, pp.23-28, 2004.9
- 11) 水谷傑, 井上隆, 小熊孝典:住宅内における用途別エネルギー消費と住まい方の実態に関する研究 - アンケート調査に基づく分析 , 日本建築学会環境系論文集, 第 609 号, pp.117-124, 2006.11
- 12) 村川三郎, 西名大作, 越川康夫, 高田宏, 森脇雄二, 西胤暢夫, 橋本俊二 :单身・独身寮における住戸別給湯負荷の実態とその解析 - 月および日あたり使用湯量・消費熱量, 空気調和・衛生工学会論文集, No.77, pp.31-41, 2000 年 4 月
- 13) 前真之, 飯尾昭彦, 石渡博, 市川憲良, 大塚雅之, 坂上恭助, 鎌田元康 :湯量・湯熱量に基づく給湯負荷評価 集合住宅における給湯・給水消費に関する実態調査, 空気調和・衛生工学会論文集, No.90, pp.39-48, 2003.7
- 14) 小原伸哉, 工藤一彦:燃料電池および灯油エンジンを利用した住宅用コージェネレーションシステムの最適運転計画, 空気調和・衛生工学会論文集, No.85, pp.59-67, 2002 年 4 月
- 15) 夏目泰幸, 杉原英治, 佐伯修, 辻穀一郎:日々の給湯負荷変動を考慮した瞬間式ヒートポンプ給湯器のシステム設計に関する研究, エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 第 23 回, pp.315-318, 2007 年 1 月
- 16) 山岸由佳, 杉原英治, 佐伯修, 辻穀一郎:世帯のエネルギー需要特性を考慮した住宅用コージェネレーションシステムの運用手法に関する研究, エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 第 23 回, pp.343-346, 2007 年 1 月
- 17) 高橋裕樹, 前真之, 鎌田元康:冬期入浴時の浴室内暖房利用が湯消費量と消費エネルギーに与える影響についての研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州), D-1, pp.577-578, 2007.8
- 18) 高橋裕樹, 前真之, 鎌田元康:冬期入浴時の浴室内暖房利用が湯消費量と消費エネルギーに与える影響についての研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州), D-1, pp.577-578, 2007.8
- 19) 中村美紀子, 中上英俊, 村越千春, 田中章夫 :アンケートによる大都市圏の家庭用エネルギー消費構造の実態調査 (第 2 報) エネルギー種別消費量, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, pp.933-936, 2006 年 9 月
- 20) 田中章夫, 中上英俊, 村越千春, 中村美紀子 :アンケートによる大都市圏の家庭用エネルギー消費構造の実態調査 (第 3 報) エネルギー消費量, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, pp.937-940, 2006 年 9 月
- 21) タギ・サデギアン, 繪内正道:北海道無暖房住宅に向けた試み その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), D2, pp.101-102, 2008.9

- 22) 鍵屋慎一, 坂本雄三, 桑沢保夫, 三浦尚志, 山本洋史, 高木博司:既存 RC 造集合住宅における断熱・気密性能向上に関する研究 その9 断熱改修による暖房用エネルギー低減効果検証, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), D2, pp.141-142, 2008.9
- 23) 藤原陽三, 繪内正道, 鈴木憲三, 羽山広文:北海道の高断熱・高気密住宅におけるセントラル暖房システムの運転実態に関する調査, 日本建築学会環境系論文集, 第 73 巻, 第 628 号, pp.767-774, 2008.6

第3章 住宅の給湯及び電力使用量の測定

3.1 はじめに

本章では、給湯・電力の使用実態の把握を目的とする。第2章におけるようなガス使用量の用途別分解から給湯使用量を推定するのではなく、給湯温度・給水温度・給水量を測定することにより給湯使用量を測定した。更に、住宅内温熱環境の測定及び夏期・冬期のエネルギー消費状況に関するアンケート調査も実施した。

また、燃料電池などの分散電源による給湯システムでは、発電と同時に発生する熱（給湯）をバランス良く使用できるように、その定格発電能力や蓄熱槽の容量を設計することが必要である^{1, 2)}。そこで、給湯使用量と同時に電力の使用状況も測定し、熱と電気の比率（熱電比）の実態も調べた。

3.2 測定住宅の概要

表3.1に示す10軒の住宅を対象に測定を行った。測定期間は基本的に1年としたが、モニター04は途中で引越しを行ったので、測定期間は5ヶ月程となった。また、モニター06は同一市内で集合住宅から戸建住宅へ引越しを行ったため、測定器も同時に移設し引き続き計測を行った。測定装置設置場所の確保のため、モニター06（前期）を除き、基本的に戸建住宅を対象とした。また、2～4人で構成される住宅を選定した。

（注：第2章とは、モニター02(=モニターGE05[第2章])を除き異なるモニターにて測定した。）

表 3.1 モニター住宅の概要及び測定期間

モニター番号	所在地	給湯システム	住宅形態	夏期 給湯温度	冬期 給湯温度	測定期間
01	兵庫県姫路市	CO2HP	戸建	37	42	05/Jan～06/Mar
02	滋賀県大津市	ガス給湯器	戸建	40	42	04/Nov～06/Dec
03	兵庫県姫路市	電気温水器	戸建	43	43	06/Jul～08/Mar
04	大阪府池田市	ガス給湯器	戸建	42	測定無	06/Jul～06/Nov
05	大阪府箕面市	ガス給湯器	戸建	42	45	06/Aug～08/Feb
06（前期）	神奈川県藤沢市	ガス給湯器	集合	39	44	06/Nov～07/Dec
06（後期）	神奈川県藤沢市	ガス給湯器	戸建	40	43	08/Jan～31/Sep
07	兵庫県川西市	CO2HP	戸建	38	42	06/Oct～08/Feb
08	大阪府守口市	ガス給湯器	戸建	39	41	08/Mar～09/Mar
09	千葉県千葉市	ガス給湯器	戸建	38	41	08/May～09/Mar
10	兵庫県姫路市	ガス給湯器	戸建	37	41	08/Jun～09/Mar

3.3 ライフスタイルに関するアンケート調査

3.3.1 調査方法

電力・給湯測定と並行して、アンケート調査を行った（短期間で終了したモニター 04 を除く）。各モニター宅に設置した温度・湿度計測器のデータを回収する際にアンケート用紙を配布し、データを回収している間にアンケートへの記入を依頼し、配布日当日に回収した。アンケートは、夏期（6月頃）と冬期（12月頃）に実施した。調査項目には長谷川ら^{3, 4, 5)}が使用したものを使用し、夏期のアンケートでは冬期の居住者の在宅状況、給湯、各種エネルギー機器の使い方について、冬期のアンケートでは夏期のそれらについて調査した。

3.3.2 調査結果

主なアンケート結果を表 3.2～表 3.7 に示す。表 3.2 に示すように、各モニターは 2～4 人で構成されているが、居住者の年齢構成は幅広く分布している。60 歳以上の高齢者がいる住宅は、モニター 01、02、03、04 及び 08 である。またモニター 05 を除き、いずれの家も昼間の在宅者が存在している。

（注：モニター 06 におけるアンケートは、集合住宅に居住していた時に実施したものである。）

(1) 入浴スタイルの季節変化

季節によるシャワー浴または湯張り浴（以下「入浴スタイル」と呼ぶ）の変化という観点でみると、表 3.2 に示すように、一年中シャワー浴が中心のモニター 02 を除き、夏期はシャワー浴、冬期は湯張り入浴の住宅が多かった。長谷川らのアンケート結果^{3, 4, 5)}によると、7，8 月頃、関西地区で週 7 回以上湯張りを行う住宅は 33 % 程度であったが、本研究における測定住宅（関東地区のモニター 06 及び 09 を除き）でも夏期に週 7 回以上湯張りを行う住宅は 3 軒（関西地区の測定住宅における割合は 42 %）であり、測定住宅の数から判断するとほぼ同程度であると考えられる。

表 3.2 モニター住宅の家族構成及び入浴スタイル

モニター番号	家族構成					昼間の在宅者の有無	季節別入浴スタイル		
	6 歳以下	7～19 歳	20～59 歳	60 歳以上	合計		夏期	中間期	冬期
01	0	0	0	2	2	有	シャワー	シャワー	浴槽湯張
02	0	0	2	2	4	有	シャワー	シャワー	シャワー
03	0	0	0	2	2	有	浴槽湯張	浴槽湯張	浴槽湯張
04	0	0	0	2	2	有	シャワー	シャワー	
05	0	0	2	0	2	無	浴槽湯張	浴槽湯張	浴槽湯張
06	0	1	2	0	3	有	浴槽湯張	浴槽湯張	浴槽湯張
07	2	0	2	0	4	有	シャワー	浴槽湯張	浴槽湯張
08	0	0	2	2	4	有	シャワー	数日間隔浴槽湯張	数日間隔浴槽湯張
09	0	2	2	0	4	有	シャワー	浴槽湯張	浴槽湯張
10	1	0	2	0	3	有	浴槽湯張	浴槽湯張	浴槽湯張

(2) 湯の使い方

表 3.3 に示す湯の使い方についてのアンケート結果によれば、浴槽に湯を張る行為に関しては、夏期・冬期ともにふんだんに湯を使用すると回答したモニター 01 を除き、儉約傾向の回答が多い。ところが、シャワーの使用に関しては、浴槽湯張り時には儉約傾向の住宅であっても、夏期・冬期とも“ふんだん”ないし“どちらかといえばふんだん”に使用すると回答した住宅が多かった。

表 3.3 湯の使い方

モニター住宅 アンケート項目	01	02	04	05	06	07	08	09	10
夏期に浴槽にお湯を入れるとき	5	3	3	2	3	3	2	1	1
夏期に暖かいシャワーを使うとき	5	3	3	2	4	4	2	3	3
夏期に洗面でお湯を使用するとき	5	2	3	2	3	3	2	3	2
夏期に食事の片づけでお湯を使うとき	5	2	3	2	1	3	3	3	2
冬期に浴槽にお湯を入れるとき	3	3	3	1	2	3	4	3	1
冬期に暖かいシャワーを使うとき	5	3	3	3	5	4	4	3	2
冬期に洗面でお湯を使用するとき	5	2	3	2	2	3	4	2	3
冬期に食事の片づけでお湯を使うとき	5	2	3	1	2	3	3	3	3
選択肢の内容									
1：儉約的に使用する 2：どちらかといえば儉約的 3：普通 4：どちらかと言えばふんだん 5：ふんだん									

(3) シャワー及び給湯湯張りの回数

次に、表 3.4 に季節ごとのシャワー・浴槽湯張り回数を示す。夏期はシャワー浴を中心とする場合でも、1 週間あたり 1 回ないしは 2 回程度は浴槽湯張り入浴をしている住宅が多い。また、冬期に浴槽湯張り入浴を中心とする入浴スタイルの住宅でも、必ずしも毎日浴槽湯張り入浴を行っていない。この結果から、入浴スタイルは住宅により様々であり、入浴習慣の差異が給湯使用量に大きな影響を及ぼすものと推測される。

表 3.4 1 週間当たりのシャワー又は浴槽湯張り回数

モニター住宅 アンケート項目	01	02	04	05	06	07	08	09	10
5 月頃に浴槽に湯を張った回数	7	4	7	7	7	2	2	6	7
5 月頃にシャワーのみを使った回数	0	0	0	1	0	5	0	4	0
夏期に浴槽に湯を張った回数	0	2	7	7	7	1	0.5	1	7
夏期にシャワーのみを使った回数	14	25	0	1	0	6	6	20	0
10 月頃に浴槽に湯を張った回数	7	4	7	N	7	7	2	8	7
10 月頃にシャワーのみを使った回数	0	0	0	N	2	0	0	1	7
冬期に浴槽に湯を張った回数	7	3	7	7	7	7	2	6	7
冬期にシャワーのみを使った回数	0	0	0	0	2	0	0	0	7
注：N 無回答									

(4) 夏期・冬期の温熱環境に対する満足感

表 3.5 に、各住宅における夏期・冬期の温熱環境に対する満足感に関するアンケート結果を示す。冬期の無暖房時は、モニター 01、06 及び 07 において不満があり、夏期の無冷房時にはモニター 01、03、07、08 及び 10 が不満を感じている。しかし、これらの住宅でも暖房・冷房を使用すると満足感が得られている。その結果、冬期のモニター 06 及び夏期のモニター 10 を除き、各季節ともに総合的な快適性は確保されているようである。

表 3.3 において、モニター 01、06 及び 07 は冬期の浴槽湯張りの状況に関しては、他の住宅と同じく“ 普通 ”と答えているが、シャワーの使用に関しては、他の住宅と異なり、“ どちらかと言えばふんだん ”又は“ ふんだん ”と回答している。冬期の室内温熱環境に対する不満が、これらの住宅の冬期における湯の多い使用を引き起こした可能性が考えられる。

表 3.5 住宅内温熱環境に対する満足感について

モニター住宅 アンケート項目	01	02	04	05	06	07	08	09	10
(1) 冬期快適性									
日当たり	1	4	2	1	2	2	2	1	2
暖房していないときの快適性について	5	3	2	2	4	4	3	2	2
暖房しているときの快適性について	1	2	2	2	2	1	3	3	2
総合的な快適性について	1	3	2	2	4	2	2	2	2
(2) 夏期の快適性									
風通しについて	1	1	2	2	1	1	2	1	4
冷房していないときの快適性について	5	2	5	2	3	4	4	3	4
冷房しているときの快適性について	1	1	1	2	2	1	2	3	3
総合的な快適性について	2	1	1	2	2	2	3	2	4
選択肢の内容									
1:かなり満足 2:まあ満足 3:どちらとも言えない 4:やや不満 5:かなり不満									

(5) 家電・エネルギー機器の使い方

表 3.6 に家電・エネルギー機器の使い方についての結果を示す。照明に関しては季節を問わず各住宅ともこまめに消しているとの回答であった。冬期のエアコンによる暖房に関しては、モニター 01 及び 03 は、“ どちらかと言えばつけっ放し ”と回答している。モニター 01 は、無暖房時に住宅内の温熱環境に対して不満（表 3.5）を感じており、これがモニター 01 におけるエアコンの連続的な使用につながっているものと思われる。

夏期のエアコンによる冷房に関しても、モニター 01 及び 03 は、冬期と同様に、“ どちらかと言えばつけっ放し ”と回答している。冬期と同じく、モニター 01 は、無冷房時の住宅内の温熱環境に対して不満（表 3.5）を感じており、これがモニター 01 におけるエアコンの連続的な使用につながっているものと思われる。

表 3.6 家電・エネルギー機器の使い方

モニター住宅	01	02	04	05	06	07	08	09	10
アンケート項目									
(1) 冬期使用状況									
照明	2	1	3	1	1	1	2	2	2
エアコン（暖房）	4	1	4	1	6	3	3	6	2
電気コタツ	6	2	6	3	6	6	6	6	6
ホットカーペット	4	2	6	3	6	2	6	6	3
床暖房	6	6	6	1	6	6	3	6	6
電気暖房（上記の物を除く）	3	2	6	1	6	3	2	2	2
ガスの暖房	6	6	6	1	6	6	2	6	6
灯油の暖房	4	6	6	6	3	6	6	3	6
(2) 夏期使用状況									
照明	2	2	3	1	1	1	2	2	2
テレビ	4	1	3	1	1	1	1	4	2
エアコン・クーラー（冷房）	4	1	4	1	1	2	2	1	3
扇風機	6	2	3	1	3	1	1	1	6
選択肢の内容									
1:こまめに消す 2:どちらかといえばこまめに消す 3:普通 4:どちらかといえばつけっ放し 5:つけっ放しにしている 6:使わない									

(6) 省エネ行動への協力

表 3.7 に各種省エネ行動への協力に関する結果を示す。暖房負荷の低減を目的とした “暖房する時間・期間や部屋の数減らす” などの行為に関しては、モニター 03 を除き協力できるとの回答であった。冬期の給湯に関して、“風呂の回数を減らす”、“お湯の量を減らす” といった行為に関しては協力を得にくいようである。また、節約のためのエネルギー消費量を表示する装置購入に対しては、受け入れにくいという住宅が多い。

一方、夏期の冷房負荷の低減を目的とした “冷房する時間・期間や部屋の数減らす” などの行為に関しては、どのモニター宅も協力できるとの回答であった。表 3.5 によれば、冬期の無暖房時よりも夏期の無冷房条件の方が温熱環境に対する不満は多いが、夏期は “まだ” 我慢できることを意味するものと思われる。また、冬期は省エネ行動への協力が得にくい給湯関連であるが、夏期においては “風呂の回数を減らす” は受け入れられないものの、“お湯の量を減らす” ことは受け入れられるようである。これは夏期の入浴は汗の汚れを取り除くための入浴に対して、冬期の入浴は暖まることが主目的であり、季節により目的が異なるためと推測される。

表 3.7 各種省エネ行動への協力

モニター住宅 アンケート項目	01	02	04	05	06	07	08	09	10	平均
(1) 冬期取り組み事項										
暖房する時間や期間を減らす	2	2	5	2	1	2	1	3	2	2.0
暖房する部屋の数減らす	2	1	4	2	1	1	1	3	2	1.7
暖房の設定温度を低めにする	1	3	4	2	2	1	1	4	2	2.0
風呂の回数を減らす	5	5	5	4	5	5	2	4	4	3.9
風呂のお湯の量を減らす	5	5	5	2	4	4	3	2	2	3.2
シャワーを使用する際に節水する	2	4	5	2	2	4	2	2	2	2.5
調理や洗面で湯を使うのを減らす	2	4	5	2	1	2	2	2	4	2.4
就寝時など暖房をタイマー運転にする	2	6	5	1	1	1	1	2	2	2.1
換気扇は、必要でないときには消す	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1.1
省エネモードなどに設定する	1	2	3	1	1	1	1	2	2	1.4
テレビやオーディオの音量を抑えめにする	1	4	2	1	1	2	4	2	2	1.9
エアコン・テレビをつけっ放しにしない	1	4	2	1	1	1	1	1	1	1.3
消費エネルギー量を表示する機器を購入設置する	3	5	5	4	1	3	6	3	2	3.2
(2) 夏期取り組み事項										
冷房する時間や期間を減らす	2	1	2	1	2	2	2	3	2	1.7
冷房する部屋の数減らす	2	1	2	1	1	1	2	3	2	1.5
冷房の設定温度を高めにする	2	1	2	3	2	1	2	3	1	1.7
風呂の回数を減らす	5	2	5	4	5	4	3	2	5	3.5
風呂のお湯の量を減らす	4	2	2	3	2	1	4	3	2	2.3
シャワーを使用する際に節水する	4	2	2	3	2	3	4	2	2	2.4
ガスコンロの火力を抑えめにする	6	1	2	2	2	2	3	2	2	1.7
節水シャワーヘッドを使用する	6	2	2	4	2	2	5	3	5	2.7
調理や洗面で湯を使うのを減らす	2	2	2	1	4	1	3	3	2	2
風呂の残り湯を洗濯にまわす	2	4	2	1	1	1	5	3	5	2.4
歯磨き・洗顔時に節水する	5	2	5	1	2	2	2	3	2	2.4
選択肢の内容										
1:できる 2:多少ならできる 3:どちらともいえない 4:あまりできない 5:できない 6:もっていない										

3.4 エネルギー消費量の測定

3.4.1 測定方法

使用した電力及び給湯量遠隔測定システム（テクノサプライ社製）の概要を図3.1に示す。また、測定器の取り付け状況を図3.2～3.5に示す。電力使用量は、分電盤のブレーカ毎に0.1W単位・1分間隔で測定を行った。給湯量は、給湯器の給水側に流量計を設置し0.1L単位1分間隔で測定した。また、給湯、給水及び風呂（浴槽）用配管の表面温度を0.1単位・1分間隔で測定した。給湯器、分電盤で測定された測定データは、測定データ送信機を介して、10分毎にメール形式（図3.7）で測定データ受信サーバ（図3.6）に送信した。本システムは10分おきにデータをモニター宅から送信することにより、現場に設置された測定器の不慮の停止等によるデータ欠測を少なくしている。また、常時接続のインターネット回線で測定器がネットワーク上に接続されているため、軽微なソフト上の不具合が発生したときは、インターネット回線を通じてモニター宅の測定器のメンテナンスを遠隔で行うことができる。

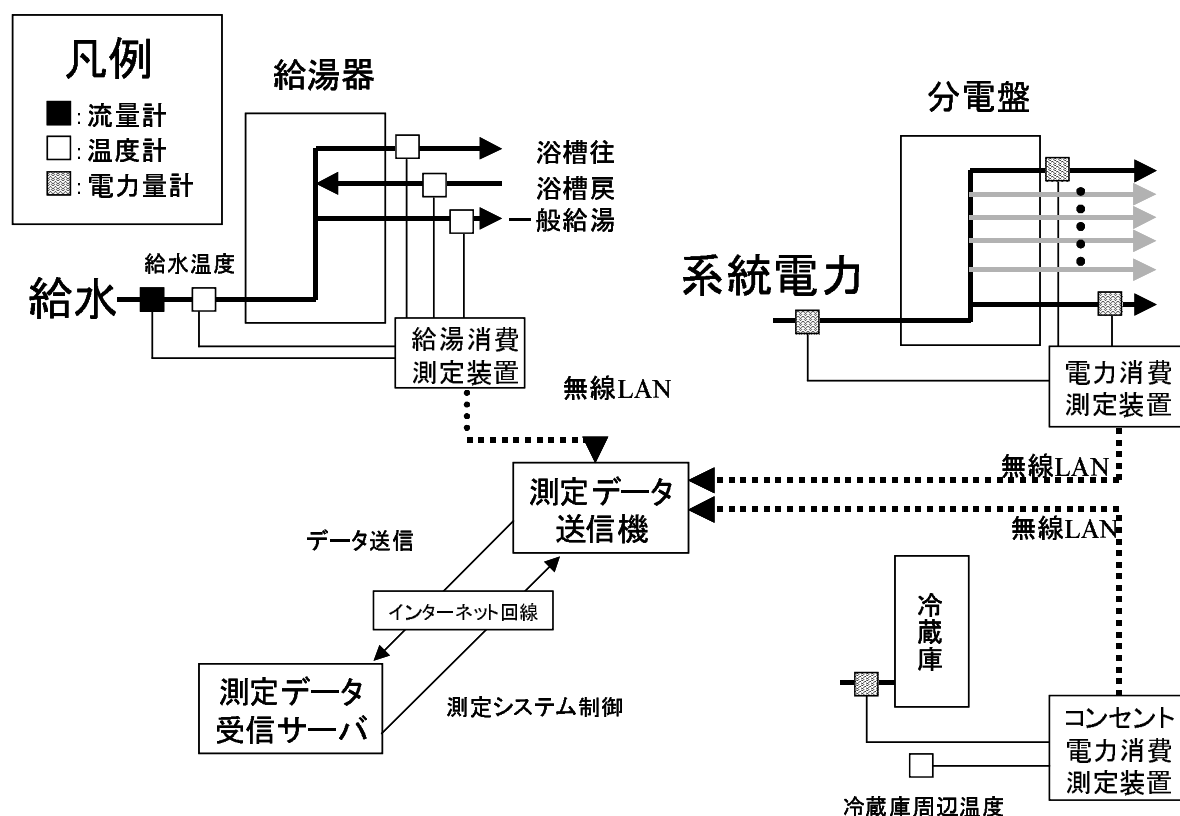


図 3.1 測定システムの概要



図 3.2 コンセント測定ユニット (冷蔵庫上)



図 3.3 分電盤装置取り付け状況



図 3.4 流量計取り付け状況

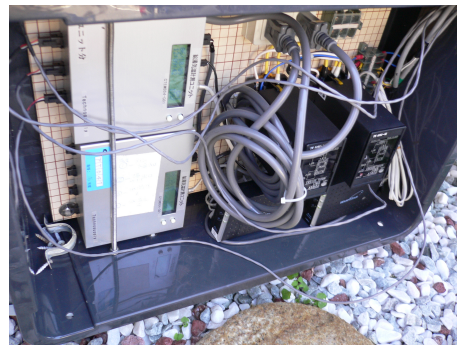


図 3.5 給湯使用量測定器設置状況

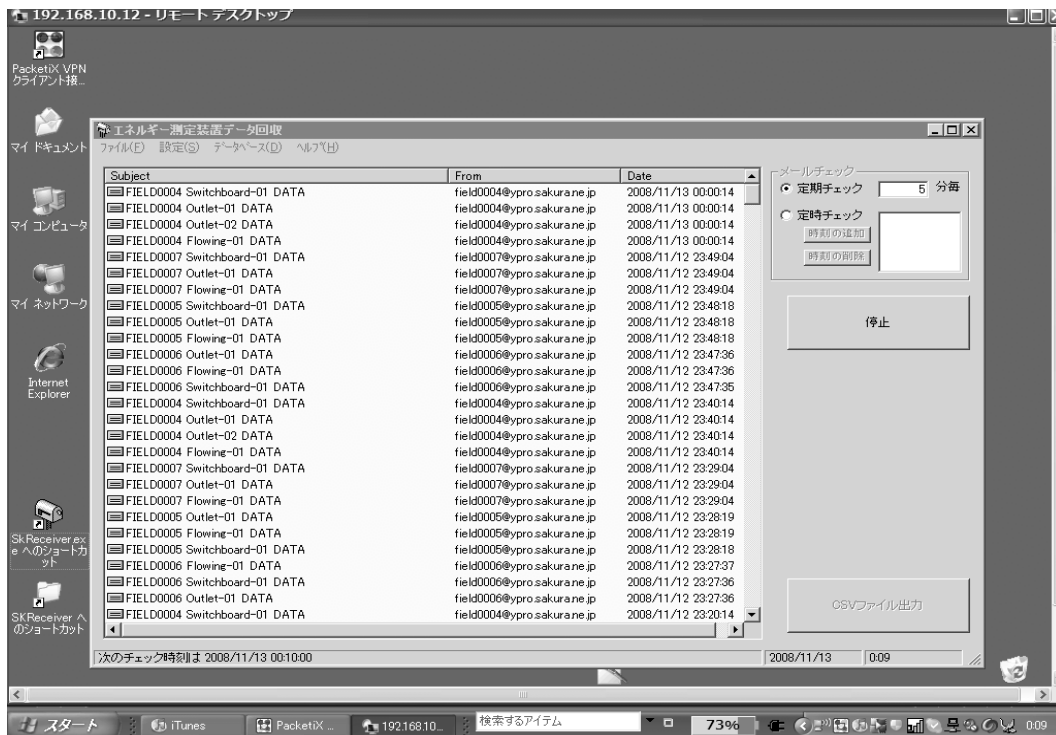


図 3.6 測定データ受信サーバ画面

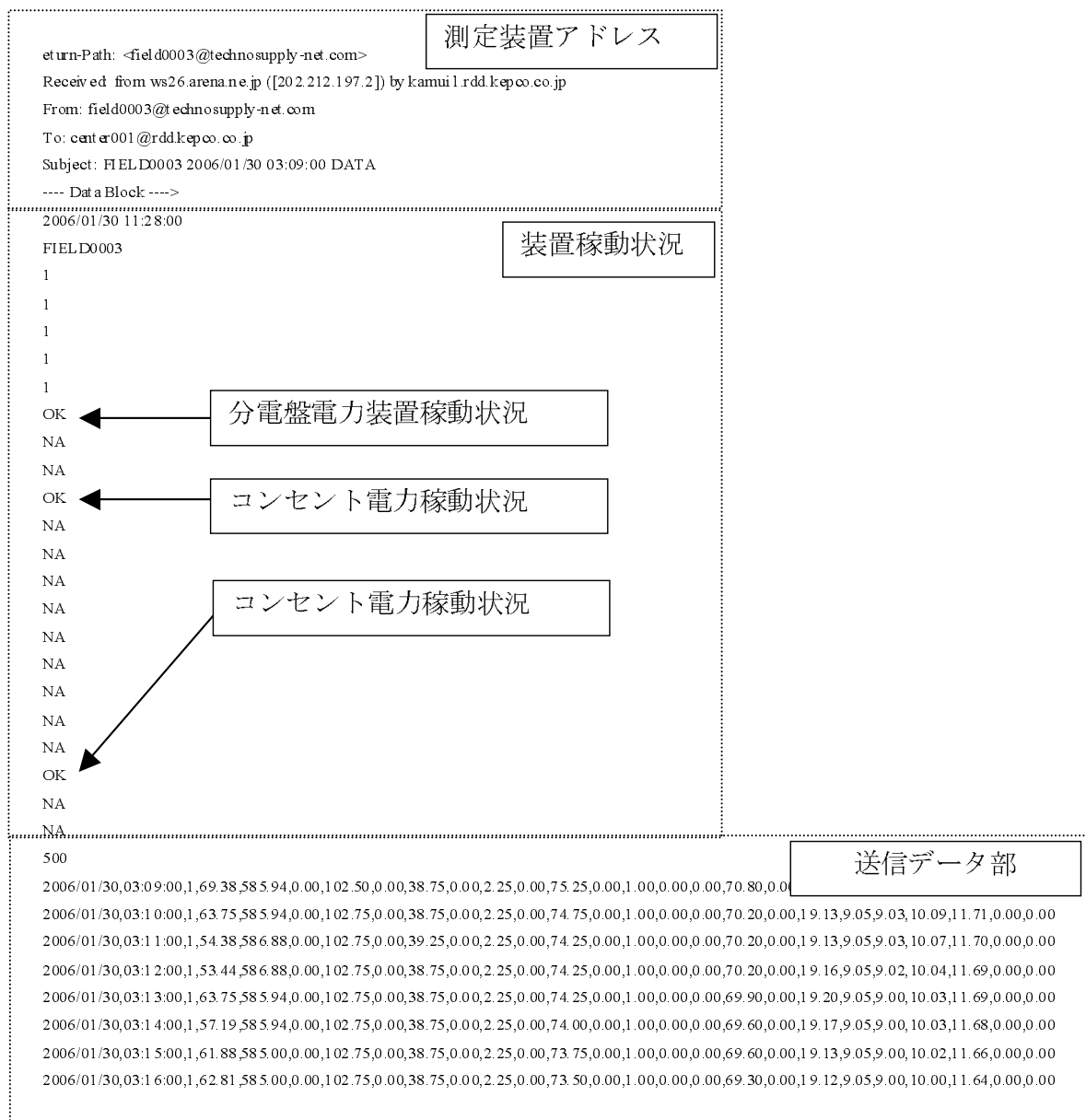


図 3.7 データ送信形式（通信電文の書式）

3.4.2 測定温度の補正

本測定では、給水温度・給湯温度を直接計測しておらず、配管表面に温度測定素子を貼り付けて測定している。モニター 01～06（集合住宅）及びモニター 07 では温度測定に半導体温度測定素子を、モニター 06（戸建）及びモニター 08～10 においては T 型熱電対を使用した。

図 3.8 に温度測定に半導体素子を使用したモニター 07 における測定結果の一例を、図 3.9 に T 型熱電対を使用したモニター 08 における測定結果の一例を示す。T 型熱電対を使用したモニター 08 においては、給湯の使用開始とほぼ同時に給湯温度は上昇しているが、半導体素子を使用したモニター 07 においては、給湯使用開始から少し遅れて（1 分程度）給湯温度がピークに達している。

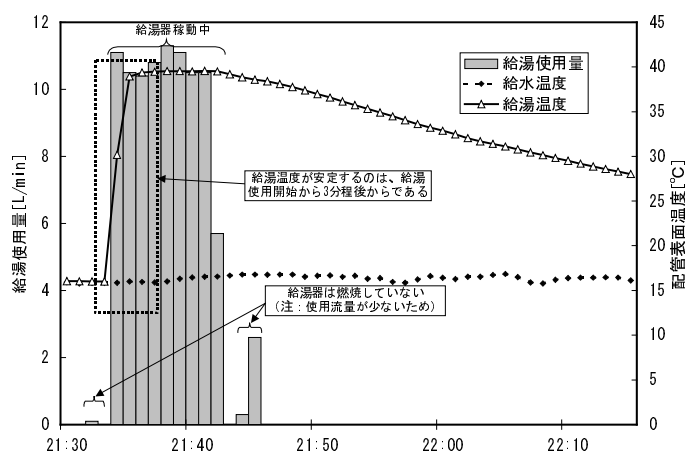


図 3.8 表面温度計測に半導体素子を使用した住宅の測定結果
(モニター 07：2006 年 10 月 16 日)

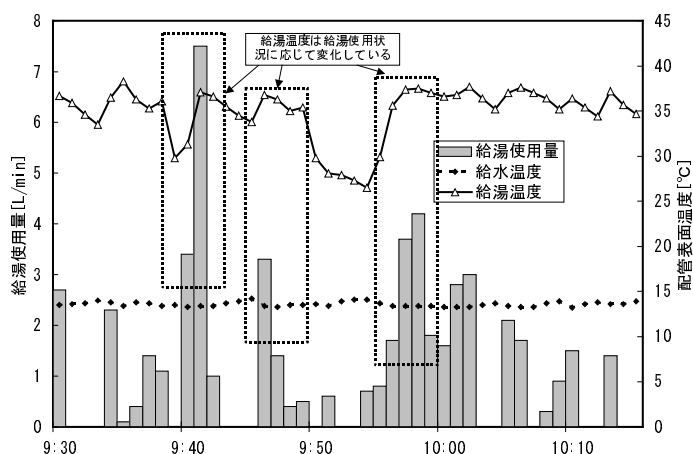


図 3.9 表面温度計測に T 型熱電対を使用した住宅の測定結果
(モニター 08：2008 年 3 月 23 日)

このように、T型熱電対を使用した測定に較べて、半導体素子を使用した測定では、半導体温度測定素子の熱容量等に起因すると考えられる温度上昇遅延が生じていた。そこで、給湯開始時の給湯負荷発生後数分間の間に観測される最も高い温度を給湯温度とみなし、測定温度の補正を行った。図 3.10 に測定温度の補正例を示す。

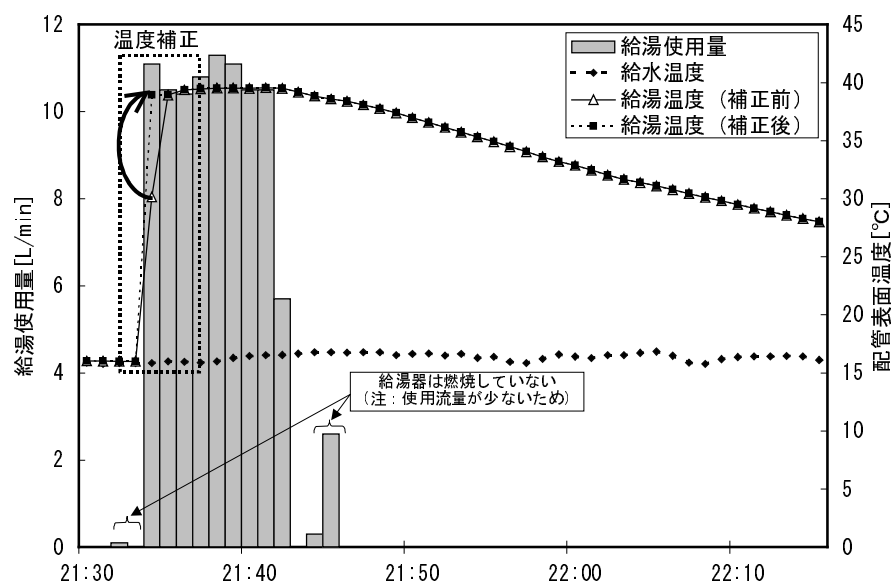


図 3.10 表面温度計測に半導体素子を使用した場合の温度補正例
(モニター 07：2006 年 10 月 16 日)

3.4.3 給湯使用量の測定結果

9 軒の住宅の給湯使用量を図 3.11 から図 3.26 に示す (10 軒のモニター住宅のうち、給湯量測定の際の配管温度測定に明らかに問題があると考えられたモニター 02 については除いている)。どの住宅においても、給湯エネルギー使用量は、気温の高い夏期には少なく、気温の低い冬期には多い。表 3.1 に示すように、モニター 03 を除き、冬期の給湯温度の設定値は、夏期の設定値より高い。以下、住宅毎の特徴について述べる。

(1) モニター 01

図 3.11 に示すモニター 01 では、浴槽湯張り入浴とシャワー入浴の 2 つのスタイルで入浴しており、シャワー入浴は 6 月 7 日～10 月 22 日 (2005 年) の間であった。冬期における典型的な週として、給水温度が年間を通じて最も低い 2 月 13 日～2 月 19 日 (2005 年) の給湯使用量をみると、平均で 41.7MJ/Day であった。また、冬期の最大給湯使用日は 2005 年 3 月 26 日で、68.1MJ/Day であった。2005 年 3 月 26 日前後に給湯使用が多かったのは、モニターへの聞き取り調査によると、孫の春休みに伴い居住者の数が増えた (大人 2 人から大人 3 人及び子供 2 人) ためである。

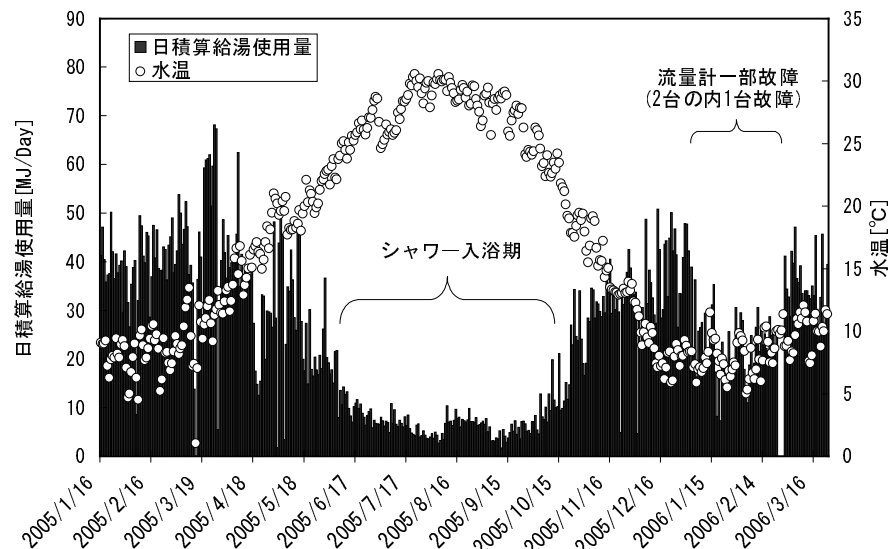


図 3.11 2人世帯における給湯使用量と給水温度の測定結果（モニター 01）

次に夏期における典型的な週として、給水温度が一年間で最も高い8月1日～8月7日（2005年）をみると、給湯使用量は平均で4.2MJ/Dayである。これは冬期の給湯使用量の約1/10である。この季節による給湯使用量の違いは、入浴スタイルの違い、給水温度及び給湯温度の差に起因するものであるが、給湯スタイルの違いに起因する給湯使用量の変化を調べるために、入浴スタイルが変化した日の前後における給湯使用量の変動を調べた。

入浴スタイルが変化した2005年6月7日の前後3日間の給湯使用量の推移を図3.12に示す。浴槽湯張り入浴をしていた6月4日～6日の給湯使用量の平均は約19MJ/Dayであるが、シャワー入浴へ移行した6月7日～6月9日の平均は約11MJ/Dayと40%程度減少している。この時の給水温度は 23 ± 1 で、前後で大きな違いはない。浴槽湯張り温度及びシャワー温度もともに38と差はない。同様に、入浴スタイルが変化する2005年10月22日の前後3日間をみると、シャワー入浴をしていた10月19日～21日の給湯使用量の平均は約13.8MJ/Dayであるのに対し、浴槽湯張り入浴へ移行した10月22日以降の平均は約28.3MJ/Dayとほぼ倍増している。

図3.13に、モニター01の給湯に使用された水量（「給湯使用水量」と定義）を示す。6月4日～6月6日までの日積算給湯使用水量の平均が約345.6L/Dayであったのに対して、シャワー入浴へ移行した6月7日～6月9日の平均は約186.6L/Dayと半減しており、冬期の浴槽湯張り浴に較べて夏期のシャワー浴は節水的であった。

モニター01のシャワー入浴期間における給湯使用量は約1GJであった。シャワー入浴時期の給湯使用量は、浴槽湯張り入浴に比べて半分程度になることから、このシャワー時期にモニター01が浴槽湯張り入浴を行っていたならば、給湯使用量は2GJ程度になったと考えられる。モニター01における年間の給湯使用量は約8.7GJであるが、年間を通して浴槽湯張り入浴を行った場合に、年間の給湯使用量は約9.7GJとなり、年間の給湯使用量が9%増加する。

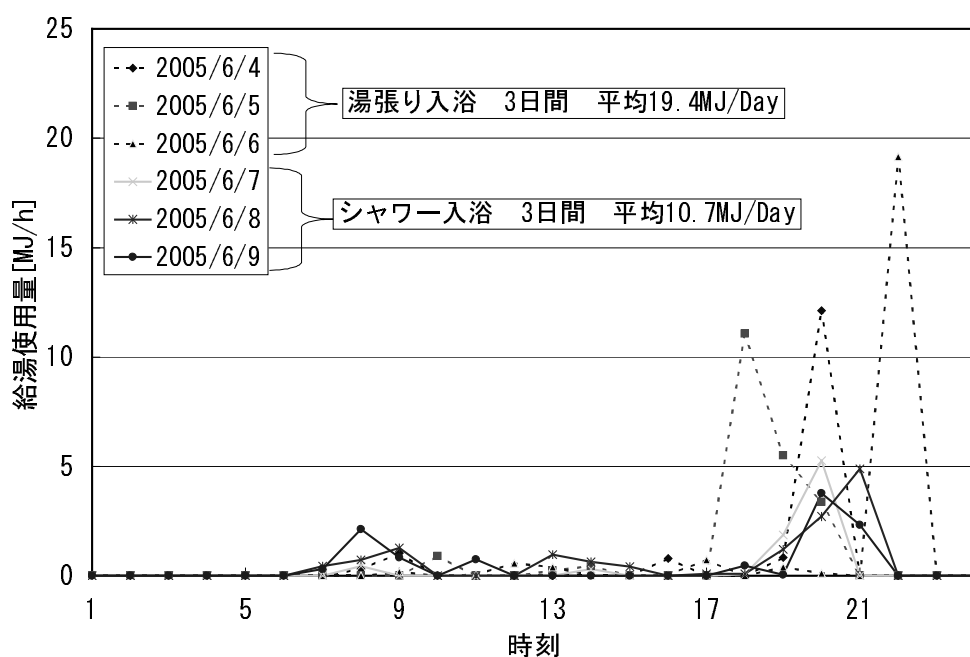


図 3.12 モニター 01 における入浴スタイル変化時の給湯使用量の変動

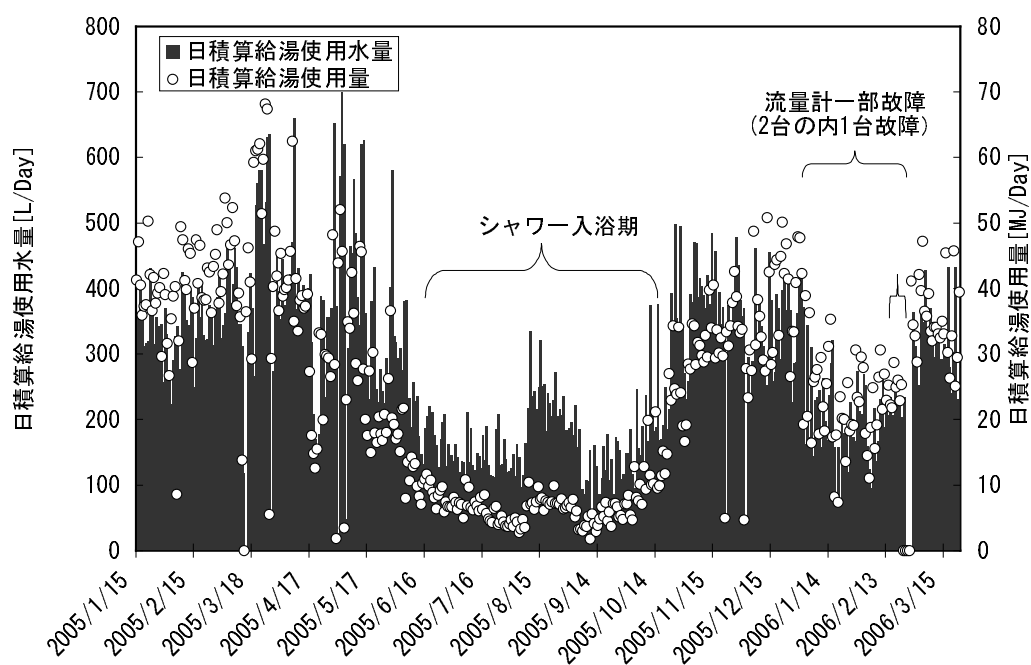


図 3.13 モニター 01 の日積算給湯使用水量及び給湯使用量

(2) モニター 03

図 3.14 に年間を通して浴槽湯張り入浴を行うモニター 03 の結果を示す。夏期における典型として、給水温度が一年間で最も高い 8 月 10 日～8 月 16 日（2007 年）をみると、給湯使用量は平均で 9.9MJ/Day、平均給水温度は 32.5℃であった。

冬期における典型として、給水温度が測定期間中最も低かった 1 月 18 日～1 月 24 日（2008 年）をみると、給湯消費量は平均で 38.6MJ/Day、平均給水温度は 6.4℃であった。これは夏期代表週における給湯使用量の約 3.9 倍である。また、冬期の最大給湯使用日は 2008 年 1 月 2 日で、85.7MJ/Day であった。モニターへの聞き取り調査によると、子らが帰省により数日間滞在し、居住者の数が一時的に増加したためである。

表 3.1 によれば、モニター 03 における給湯温度は年間を通じて 43℃であるから、冬期における給水温度と給湯温度との差は 36.6℃、夏期における給水温度と給湯温度との差は 10.5℃となる。よって、夏期における給水・給湯の温度差（10.5℃）に比べて、冬期における給水・給湯の温度差（36.6℃）が 3.5 倍大きくなることを考慮すると、冬期と夏期の給湯使用量の差は、主として水温に起因するものと言える。

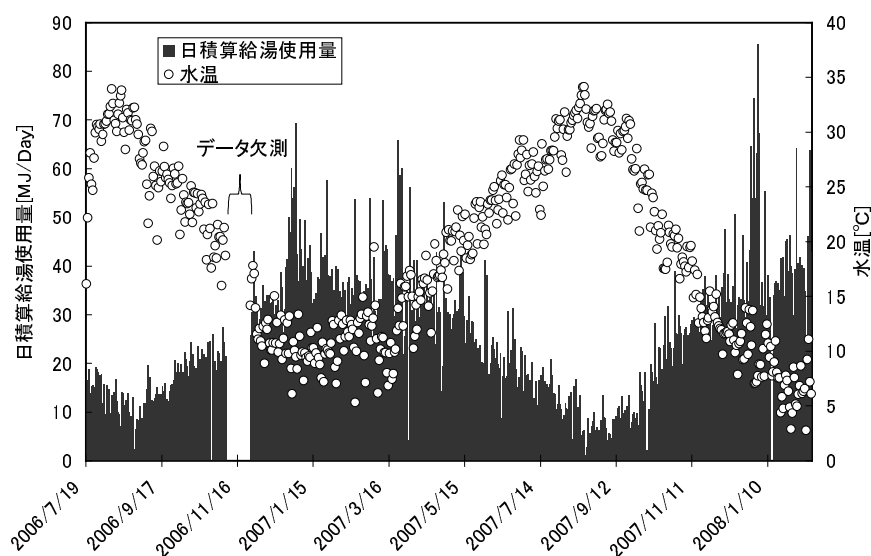


図 3.14 2人世帯における給湯使用量と給水温度の測定結果（モニター 03）

(3) モニター 04

図 3.15 に示すモニター 04 では、夏期においては数日毎に浴槽湯張り入浴をし、その他の日にはシャワー入浴を行っていた。また、秋期においてはおよそ 3 日おきに浴槽湯張り入浴しているが、入浴する日と入浴しない日が混在するため、給湯負荷の変動は非常に大きい。モニター 04 では測定期間が短いため、夏期及び中間期のデータしかないが、夏期における代表週として、給水温度が年間を通じて最も高い 8 月 11 日～8 月 17 日（2006 年）における湯張り入浴日の給湯使用量は平均で 11MJ/Day であり、シャワー入浴日の給湯消費量は 3.4MJ/Day であった。シャワー入浴日は、モニター 01 における夏期の給湯使用量 4.2MJ/Day に近く、

湯張り入浴日はモニター 03 における夏期の給湯使用量 9.9MJ/Day に近い。図 3.16 にモニター 04 の給湯使用水量を示す。浴槽湯張り入浴を行う日は 300L/Day の消費があるが、シャワー入浴日は 150L/Day 程度であり、浴槽湯張り入浴のほぼ半分となっている。

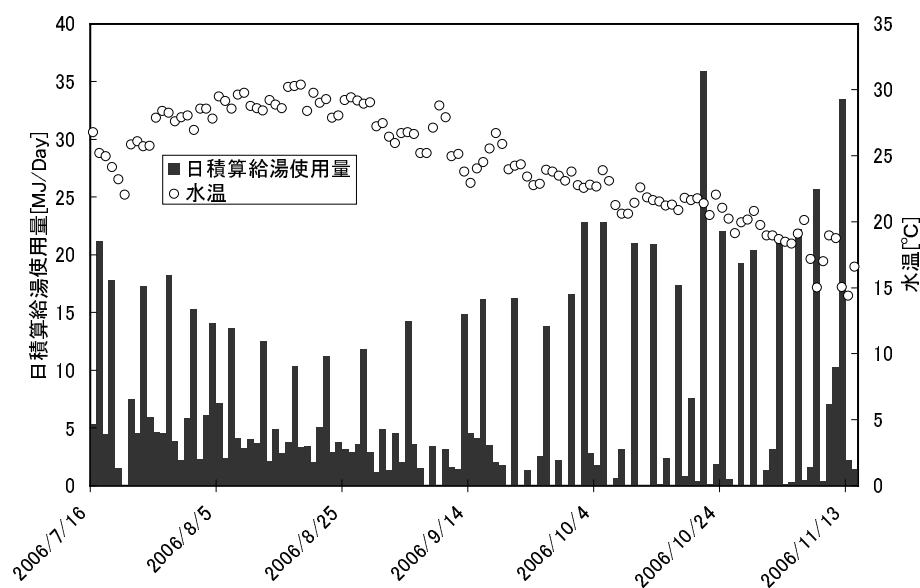


図 3.15 2人世帯における給湯使用量と給水温度の測定結果 (モニター 04)

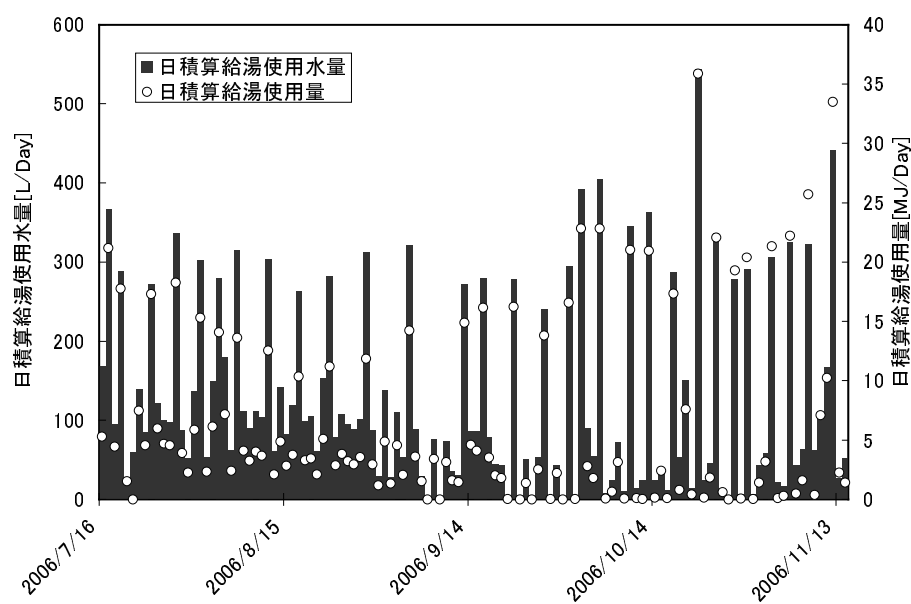


図 3.16 年間を通じてシャワー浴を基本とし、数日毎に湯張り入浴を行うモニター 04 の給湯使用水量の測定結果

(4) モニター 05

図 3.17 に示すモニター 05 も、モニター 03 と同じく浴槽湯張り入浴を主とする住宅である。夏期における典型として、給水温度が年間を通じて最も高い 8 月 14 日～8 月 20 日（2007 年）における給湯使用量は平均で 6.5MJ/Day、水温は平均で 32.4℃であった。

一方、冬期における代表週として、給水温度が測定期間中最も低かった 1 月 22 日～1 月 28 日（2007 年）の給湯使用量をみると平均で 31.7J/Day であり、給水温度は平均で 8.9℃であった。また、冬期の最大給湯使用日は 2007 年 1 月 4 日で、58.8MJ/Day であった。これは、居住者の前日の帰宅が遅く給湯の使用が深夜になり、2 回分の給湯負荷を合計したためである（第 4.2 章参照）。

モニター 05 の冬期の給湯使用量は、夏期のその約 4.8 倍であった。表 3.1 によれば、モニター 05 における給湯温度は夏期が 42℃、冬期が 45℃であるから、夏期における給水と給湯の温度差（9.6℃）に比べて、冬期における給水と給湯の温度差（36.1℃）は 3.8 倍となる。従って、夏期と冬期における給湯使用量の差は、夏期と冬期の給湯と給水温度の差だけでは説明できない。

そこで、給湯水量について検討を行った。モニター 05 の給湯使用水量を図 3.18 に示す。1 月 22 日～1 月 28 日（2007 年）の給湯使用水量は平均で 288L/Day であるのに対して、8 月 14 日～8 月 20 日（2007 年）における給湯使用水量は平均で 233L/Day で、冬期の給湯使用水量は夏期のその約 1.2 倍となる。表 3.3 によると、モニター 05 では、夏場のシャワーの使用は「どちらかといえば儉約的」と答えているのに対して、冬期のシャワーの使用は「普通」と答えており、冬期の給湯使用量増加の原因は給水温度の低下と給湯温度の上昇及びシャワー水量の増加によるものと考えられる。

モニター 05 においては、冬期を 11 月から 2 月までとすると、この期間における給湯使用量は 3.2GJ となる。冬期のシャワーの使用を他の季節程度に控えるならば、冬期の給湯負荷を 2.4GJ に低下させることが可能である。これは年間の給湯使用量の 12% に対応している。

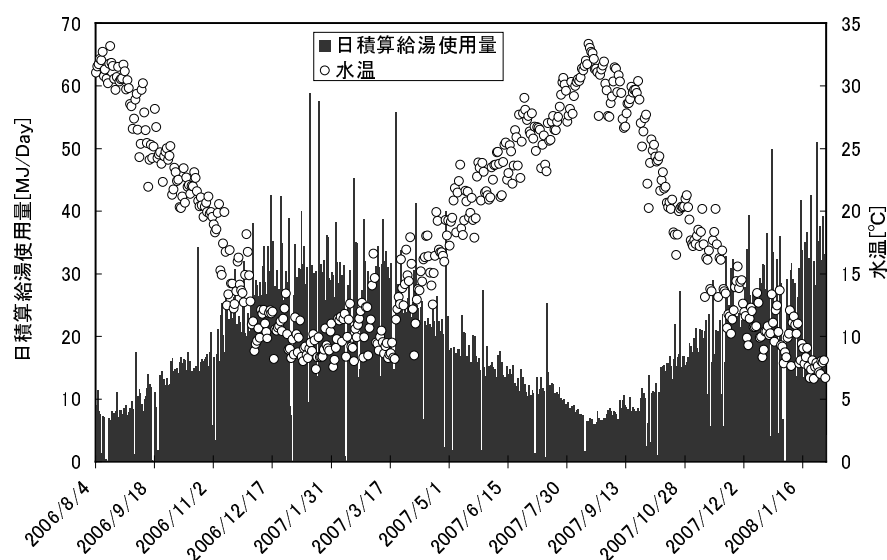


図 3.17 2 人世帯における給湯使用量と給水温度の測定結果 (モニター 05)

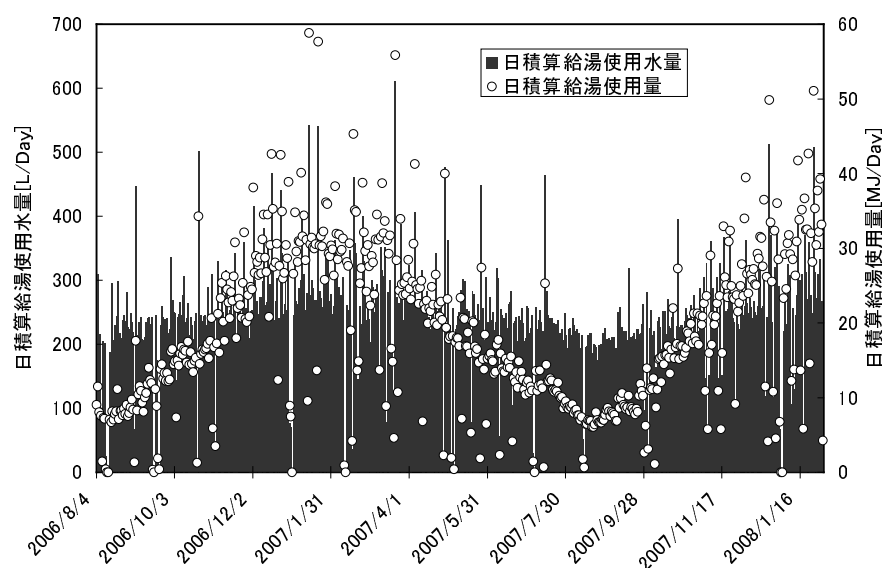


図 3.18 モニター 05 の給湯使用水量の測定結果

(5) モニター 06

3人世帯のモニター 06 (図 3.19) も、モニター 03、05 と同じく浴槽湯張り入浴を主とした入浴スタイルである。モニター 06 は測定開始から約 1 年後に同一市内において、集合住宅から戸建住宅へと引越しているが、引越しの前後において入浴スタイル及び家族構成に大きな変化はない。

集合住宅時

夏期における代表週として、給水温度が一年間で最も高い 8 月 7 日～8 月 13 日 (2007 年) における給湯使用量は平均で 24.5MJ/Day、平均給水温度は 28.9 であった。

一方、冬期における典型例として、給水温度が最も低かった 1 月 14 日～1 月 20 日 (2007 年) をみると、給湯使用量は平均で 81.8MJ/Day、平均給水温度は 6.6 であった。また、冬期の最大給湯使用日は 2007 年 1 月 4 日で 132.9MJ/Day であった。これは、モニター 05 と同じく前日の居住者の帰宅が遅く給湯の使用が深夜になり、2 回分の給湯負荷を合計したためである。

戸建住宅時

夏期における代表週として、給水温度が一年間で最も高い 8 月 8 日～8 月 14 日 (2008 年) における給湯使用量は平均で 17.9MJ/Day、平均給水温度は 28.3 であった。

一方、冬期における典型例として、欠測期間を除き給水温度が最も低かった 1 月 25 日～1 月 31 日 (2008 年) をみると、給湯使用量は平均で 74.7MJ/Day、平均給水温度は 7.6 であった。また、冬期の最大給湯使用日は 2008 年 1 月 26 日で 118MJ/Day であった。これは、この日の午前 11 時ごろに 38MJ 程度の給湯使用があったためであるが、モニター 06 への聞

き取りによると、週末にスポーツジムに行き、その後自宅でシャワー等の入浴をしているとのことであった。(第4.3章参照)。

集合住宅時のアンケート結果

表3.3によると、モニター06も、夏期のシャワーの使用は“普通”に使うと回答しているが、冬期のシャワーの使用は“ふんだん”に使うと回答しており、冬期の給湯負荷増加の原因は、モニター05と同じく給水温度の低下及びシャワー等の使用によるものと推測される。冬期を11月から2月までとすると、冬期の給湯負荷は7.7GJであった。もし、モニター06において、冬期もその他の季節と同様の入浴(“ふんだんな”シャワーの使用を控える)をするならば、冬期のシャワーに使用された給水量の削減により、冬期の給湯負荷は6.7GJとなる。これは年間の給湯使用量を5%削減することに相当する。

集合住宅時と戸建住宅居住時の比較

集合住宅から戸建住宅に引っ越した後も、図3.19に見られるように日積算給湯使用量に大きな変化はない。戸建住宅への転居後の初期において欠測期間があるため、集合住宅時と同一水温条件での比較はできないが、集合住宅居住時の給湯エネルギー消費量(81.8MJ/Day)に較べて、戸建住宅居住時の給湯エネルギー消費量は74.7MJ/Dayと若干減少している。しかし、これは転宅に伴う浴槽の容量の差による給水量の変化等の要因が考えられるため、日積算給湯使用量の単純な比較は難しい。そこで、第6章において給湯温度と室内温熱環境面から、居住空間の変化に伴う給湯消費の変化を分析する。

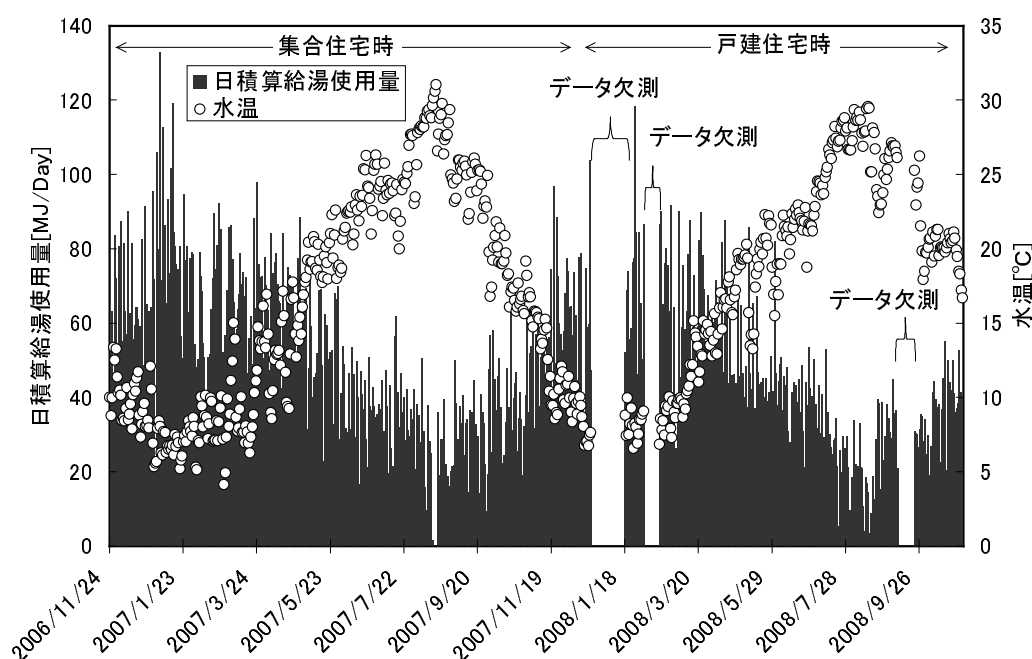


図 3.19 3人世帯における給湯使用量と給水温度の測定結果(モニター06)

(6) モニター 10

モニター 10(図 3.20) も、モニター 03、05 及び 06 と同じく浴槽湯張り入浴を主としている。給水温度が年間を通じて最も高いと推定される 2008 年 7 月 28 日～8 月 7 日(2008 年)は、落雷により測定器が故障したため、8 月 8 日～8 月 14 日(2008 年)を夏期における給湯使用の典型週とする。このときの平均給湯使用量は 11.3MJ/Day、平均給水温度は 30.9℃であった。

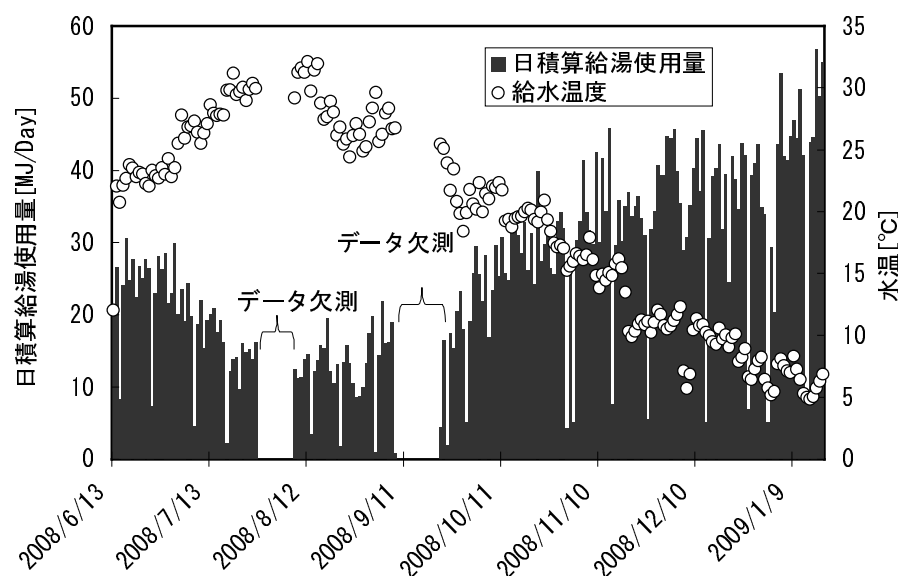


図 3.20 3 人世帯における給湯使用量と給水温度の測定結果 (モニター 10)

次に、冬期における典型例として、給水温度が測定期間中最も低かった 1 月 12 日～1 月 18 日(2009 年)をみると、夜間の給湯使用が無かった 1 月 13 日を除いた 6 日間の平均給湯使用量は 48.8MJ/Day、平均水温は 5.9℃であった。冬期の最大給湯使用は 2009 年 1 月 16 日の 56.7MJ/Day であったが、来客等は特になく、普段の生活の中における給湯使用量の揺らぎの結果と考えられる。冬期における給湯使用量は夏期の約 4.3 倍である。

表 3.1 によれば、モニター 10 における給湯温度は夏期が 37℃、冬期が 41℃であるから、冬期における給水温度と給湯温度との差が 35.1℃、夏期における給水温度と給湯温度との差が 8.1℃となる。よって、夏期の給水と給湯温度との差と冬期のそれとの差は 4.3 倍であり、観測された夏と冬の給湯使用量との差約 4.3 倍とほぼ一致する。

(7) モニター 07

図 3.21 に示すように、4 人世帯のモニター 07 では、夏期(2007 年 6 月 25 日～9 月 23 日)にはシャワー入浴を行い(ただし、7 月 8 日、17 日、21 日、28 日、及び 8 月 15 日、17 日は浴槽湯張りを行っている)、その他の季節には湯張り入浴をおこなっている。

まず、冬期における典型として、給水温度が一年間で最も低い 1 月 11 日～1 月 17 日(2007 年)の給湯使用量をみると、平均で 62.1MJ/Day であった。また、冬期の最大給湯使用の日 は 2007 年 1 月 3 日で、110.4MJ/Day であった。これは、モニター 05 と同じく居住者の前日の帰宅が遅く、給湯の使用が深夜になり、2 回分の給湯負荷を合計したためである。次に夏

期における典型例として、給水温度が一年間で最も高い8月4日～8月10日（2007年）をみると、平均給湯使用量は4.5MJ/Dayであった。これは冬期代表週における給湯使用量の1/13であった。この違いは、他の住宅と同じく給水温度の上昇とシャワー浴による給湯使用量の減少によるものと考えられる。

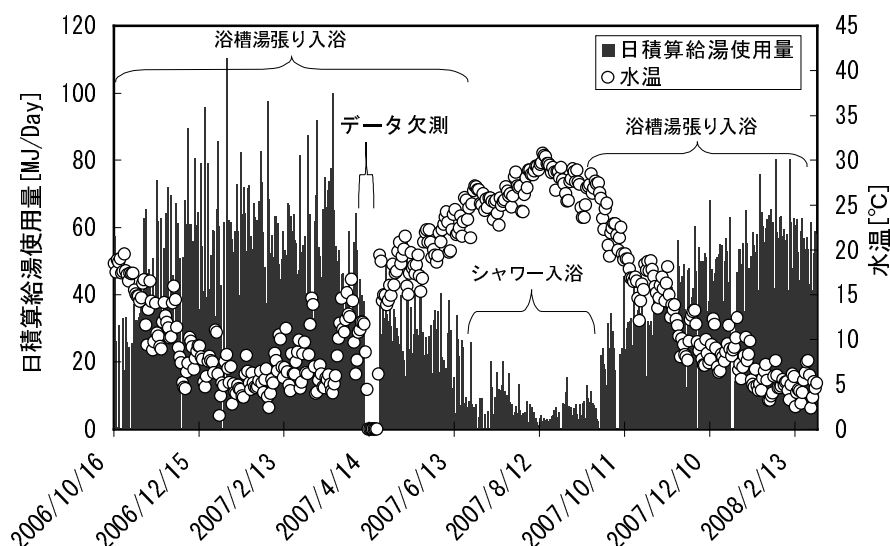


図 3.21 4人世帯における給湯使用量と給水温度の測定結果 (モニター 07)

(8) モニター 08

図 3.22 に示すモニター 08 は、夏期（2008 年 7 月 17 日～9 月 23 日）は、ほぼシャワー入浴で、その他の季節は数日間隔で浴槽湯張り入浴を行っている。冬期における典型例として、給水温度が一年間で最も低い2009 年 1 月 11 日～1 月 17 日をみると、平均給湯使用量は 85.4MJ/Day であった。

次に夏期における典型例として、給水温度が一年間で最も高い8月4日～8月10日（2008 年）を取り上げると平均給湯使用量は 15.4MJ/Day であり、これは冬期における給湯使用量の約 1/5 である。この差は、他の住宅と同じく夏期の給水温度の上昇とシャワー浴による給湯使用量の減少によるものと考えられる。

給湯使用状況を観察すると、モニター 08 におけるシャワーの使用は断続的ではなく、十数分間連続して使用することが多い。例として、図 3.23 に 2008 年 3 月 21 日の 21 時～23 時 59 分における給湯使用状況を示す。夜 21 時頃に浴槽に湯が張られ、その後 22 時 30 分頃から 23 時 50 分頃にかけて、シャワーの使用と考えられる給湯使用がある。図 3.24 に示すように、夏期においても同様の傾向が見られる。

このように、モニター 08 ではシャワーを 10 分間程度連続的に使用しているため、同様の入浴スタイルの傾向にあるモニター 04（図 3.16）に比べ、入浴スタイルの差による極端な給湯水使用量（図 3.25）の変動はない。

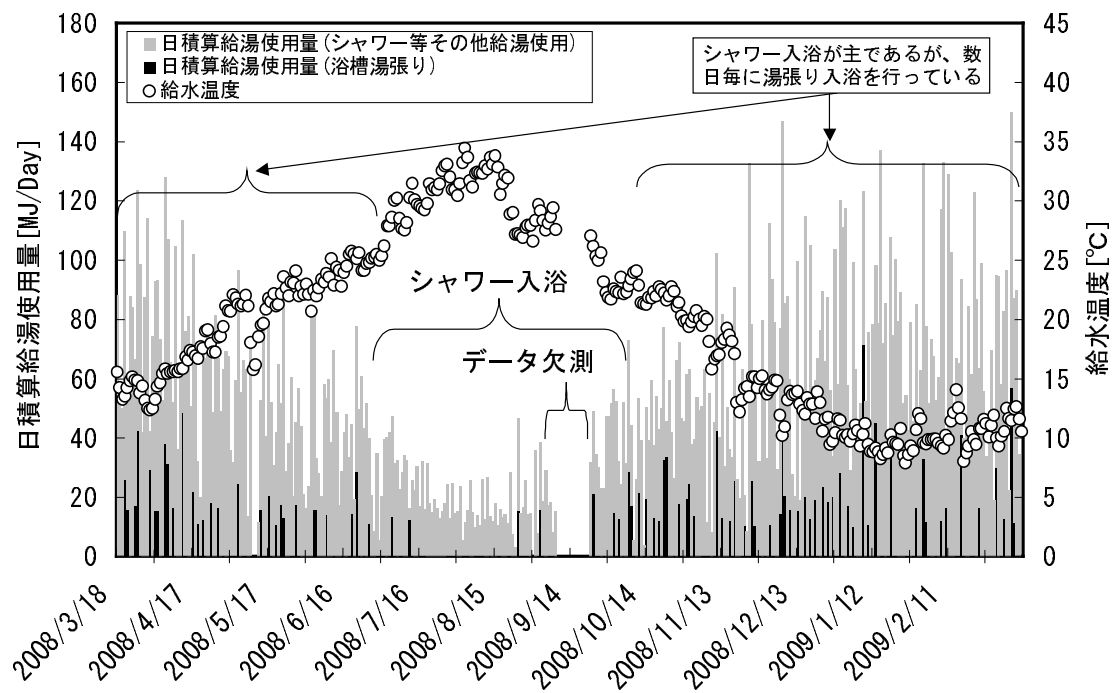


図 3.22 4人世帯における給湯使用量と給水温度の測定結果 (モニター 08)

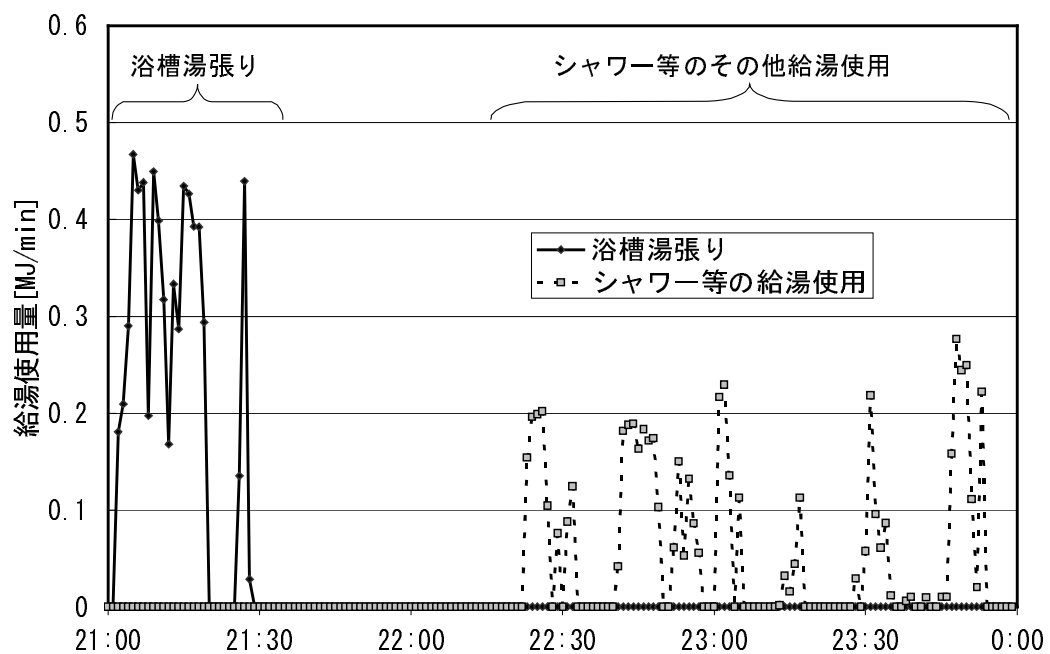


図 3.23 モニター 08 における給湯使用状況 (2008 年 3 月 21 日)

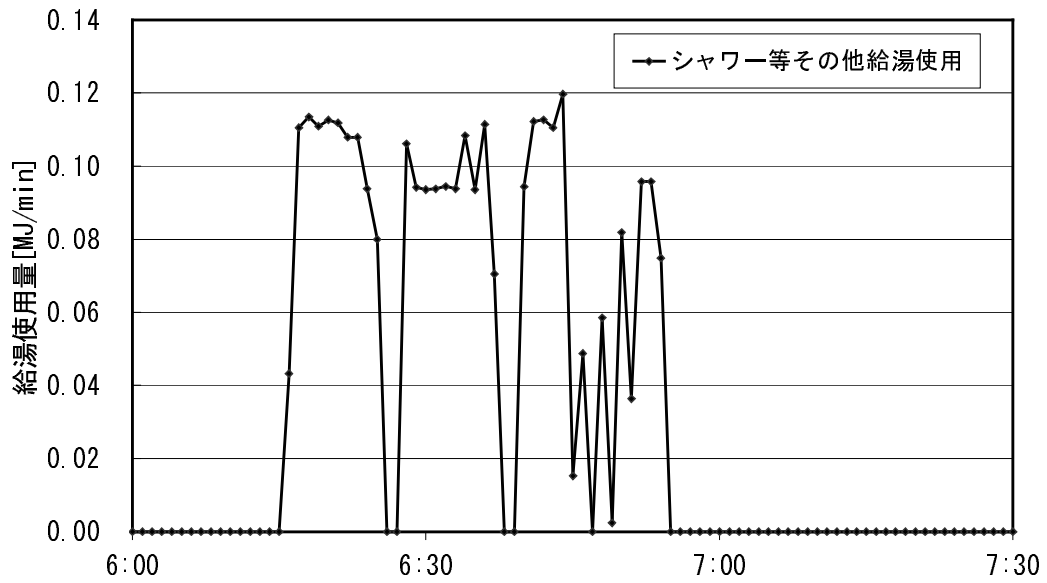


図 3.24 モニター 08 における給湯使用状況 (2008 年 7 月 2 日)

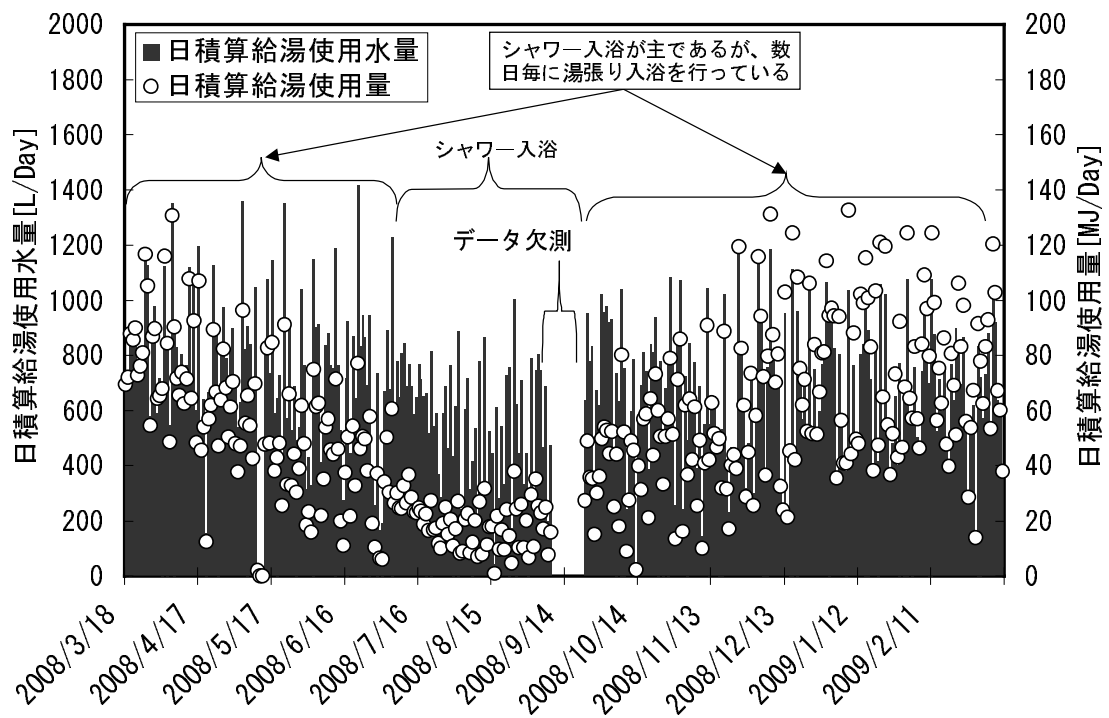


図 3.25 モニター 08 の給湯使用水量の日変動

(9) モニター 09

季節により入浴スタイルが変化するモニター 09 (図 3.26) は、浴槽湯張り入浴とシャワー浴の 2 つのスタイルで入浴しており、シャワー浴期間は、7 月 4 日～9 月 26 日 (2008 年) であった (ただし、7 月 25 日及び 8 月 4 日、7 日、15 日は浴槽湯張りを行っている)。

まず、冬期における典型例として、給水温度が一年間で最も低い 1 月 12 日～1 月 18 日 (2009 年) をみると、平均給湯使用量は 23.7MJ/Day であった。

次に夏期における典型として、給水温度が一年間で最も高い 8 月 7 日～8 月 13 日 (2008 年) をみると、平均給湯消費は 4.2MJ/Day であった。冬期における給湯使用量は夏期の 5.9 倍になっている。表 3.1 によれば、モニター 09 における給湯温度は夏期が 38℃、冬期が 41℃であるから、夏期における給水・給湯の温度差 (9.2℃) に比べて、冬期における給水・給湯の温度差 (36.1℃) は 3.9 倍となる。夏期と冬期の給湯使用量の差は、この給水温度の変化及び入浴スタイルの変化によるものと考えられる。

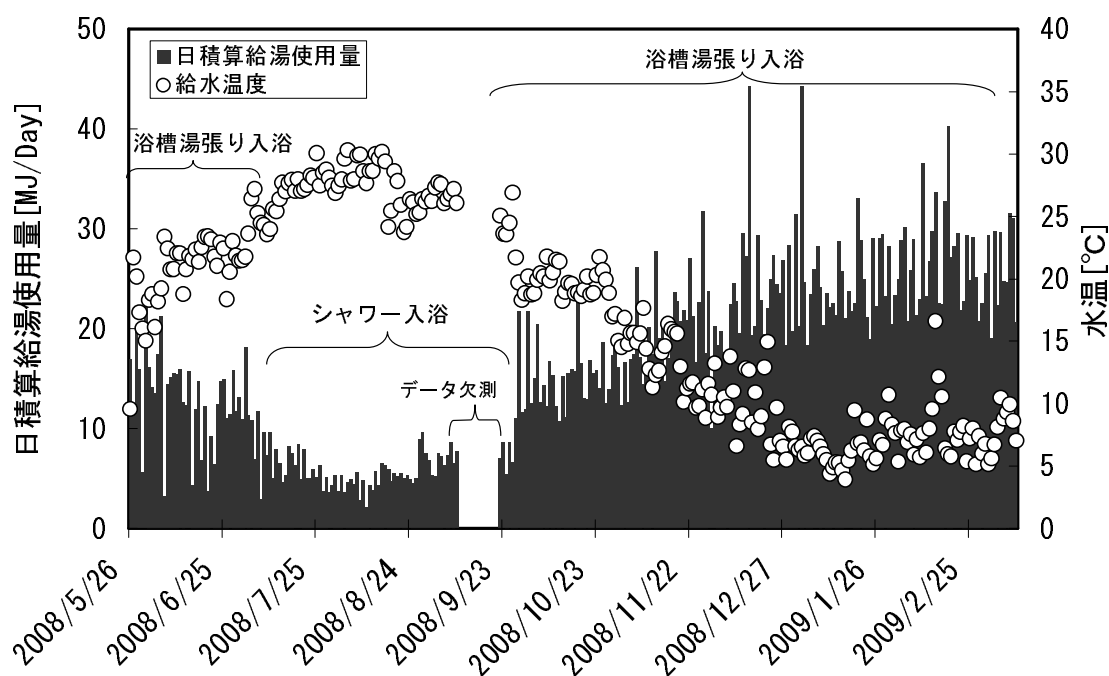


図 3.26 4 人世帯における給湯使用量と水温の測定結果 (モニター 09)

3.4.4 電力使用量測定結果

各モニター宅における電力使用量の推移を図 3.27 から図 3.45 に示す。本節で定義する電力使用量は、全電力使用量から給湯に要した電力分を差し引いたものである。本節では、各住宅におけるアンケート結果と電力使用量及び熱電比（給湯使用量/電力使用量）の推移に関する考察を行う。

(1) モニター 01

図 3.27 に示すモニター 01 では、夏期に大きなピークが発生するが、夏期以外の季節では基本的に電力使用量は一定である。モニター 01 へのアンケート(表 3.6)によれば、夏期はエアコンによる連続的な冷房を行い、冬期は灯油ファンヒータによる連続的な暖房を主としているとのことであった。このため、電力使用量のピークは夏期に発生し、冬期の電力使用量は中間期に較べて若干は増加するが、夏期ほど極端に増加しない。

なお、2005 年の 12 月末に、鋭いピークが発生しているが、モニター宅への聞き取り調査によると、孫の訪問がこの日にあり 1 日中エアコンを稼働させたとのことであった。

図 3.28 に、熱電比の推移を示す。モニター 01 では、夏期は給湯使用量が少ないのに対して、エアコン等の空調機器を連続運転しているため電力使用量は大きい。その結果、夏期の給湯使用量は電力使用量の約 1/10 になっている。一方、冬期は灯油による暖房のため、電力使用は夏期ほど多くない。この結果、電力と給湯に使用したエネルギーの比率はほぼ同じとなっている。

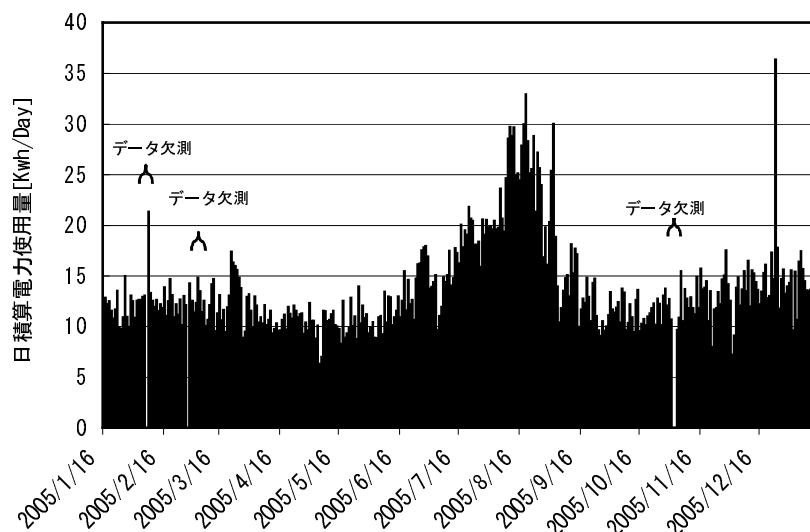


図 3.27 住宅 01 における電力使用状況

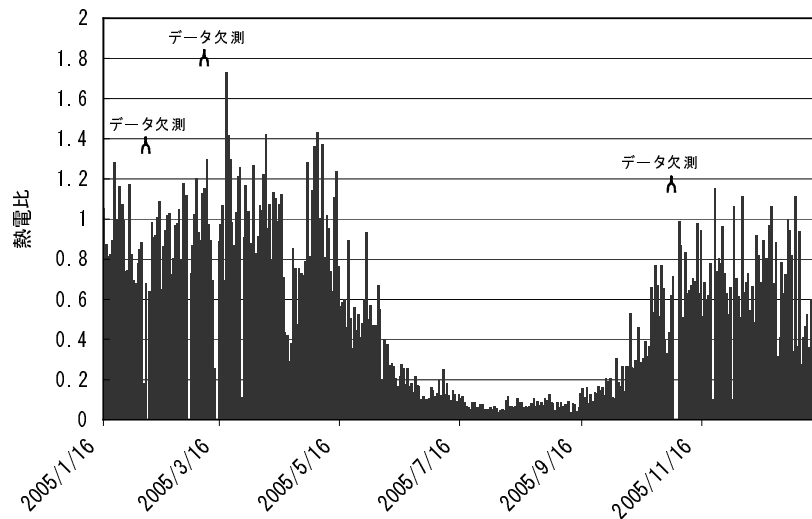


図 3.28 住宅 01 における熱電比の推移

(2) モニター 02

図 3.29 に示すモニター 02 では、冬期にピークが生じており、夏期に大きな電力使用量は無い。モニター 02 へのアンケート(表 3.6)によれば、夏期は節約的なエアコン冷房を行い、冬期も節約的な暖房を行っているとするが、冬期の電力使用は他の季節に較べてかなり大きい。そこで、使用している暖房機器を調べた結果、パネルヒータ等の抵抗加熱を利用した暖房機器を使用していた。このため、冬期において、大きなピークが発生したものと考えられる。アンケート結果(表 3.5)から分かるように、モニター 02 の住宅内の温熱環境は、夏期は快適感が高く風通しへの不満もないため、エアコン冷房の必要性をあまり感じていない。一方冬期においては、暖房していても温冷感への十分な満足感は得られていない。このため冬期において、パネルヒータを多用しているものと推測される。なお、モニター 02 では給湯温度測定に不具合があったため、熱電比の結果は略す。

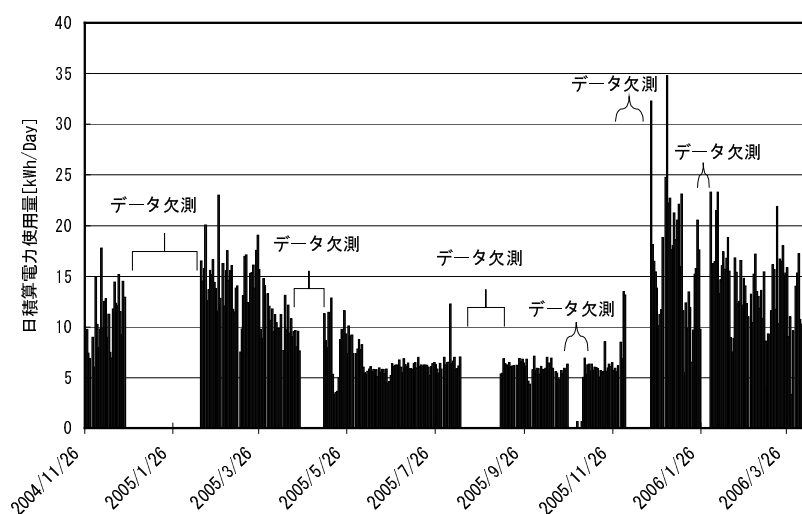


図 3.29 住宅 02 における電力使用状況

(3) モニター 03

図 3.30 に示すモニター 03 の電力使用においては、夏期及び冬期に山が生じている。アンケート結果 (表 3.6) によれば、夏期はエアコンによる連続的な冷房を行い、冬期はエアコンを連続的に使用し、更に赤外線ヒーターを使用しているとのことであった。このため、電気による暖房を行わないモニター 01 と異なり、冬期・夏期に 2 つの山が発生している。

図 3.31 にモニター 03 における熱電比の推移を示す。通常、熱電比は、水温が高く給湯負荷の小さい夏期に小さく、水温が低い冬期に大きくなる傾向にある。しかし、モニター 03 では、冬期においても給湯使用量よりも電力使用量が多い。このため、電気による冷暖房の使用がない中間期 (5 月頃) において、熱電比は最大値をとっている。

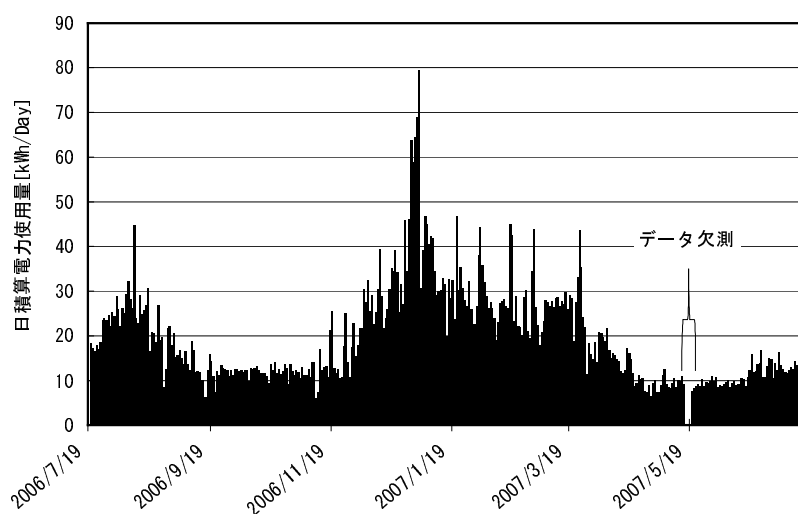


図 3.30 住宅 03 における電力使用状況

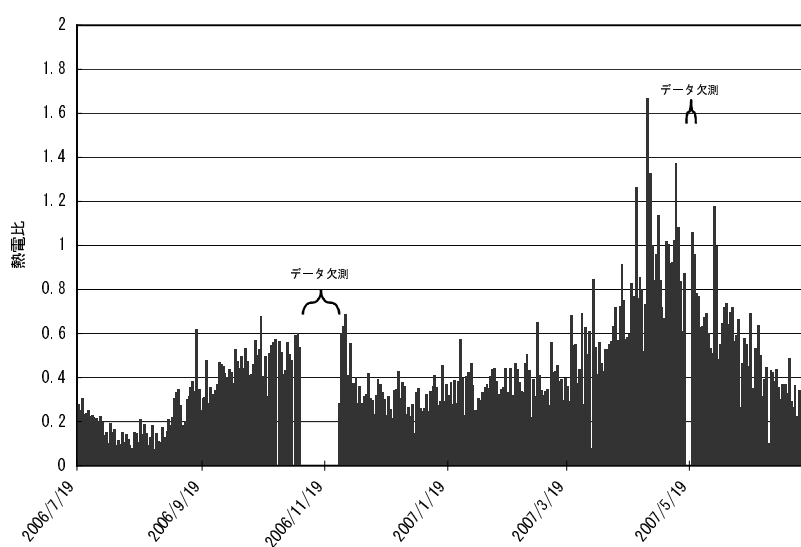


図 3.31 住宅 03 における熱電比の推移

(4) モニター 04

図 3.32 に示すモニター 04 では、測定期間が短く、夏期及び中間期を中心とする計測となっている。モニター 04 では、他の住宅と異なりエアコンは連続的には使用されていないため、8 月 15 日前後の短期間を除くと、大きな電力使用は生じていない。

図 3.33 に熱電比の推移を示す。この住宅の給湯使用は図 3.15 に示すように、日により大きく変動する。このため、熱電比の日変動も大きくなっている。

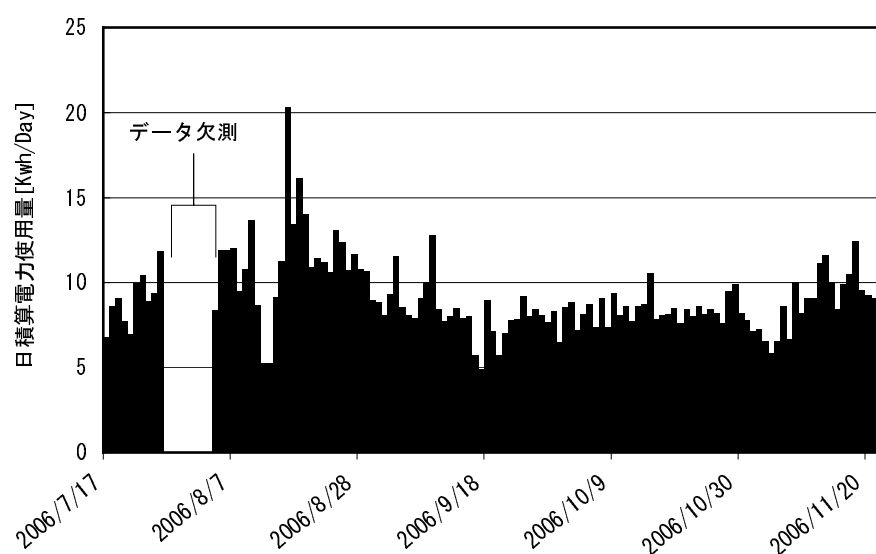


図 3.32 住宅 04 における電力使用状況

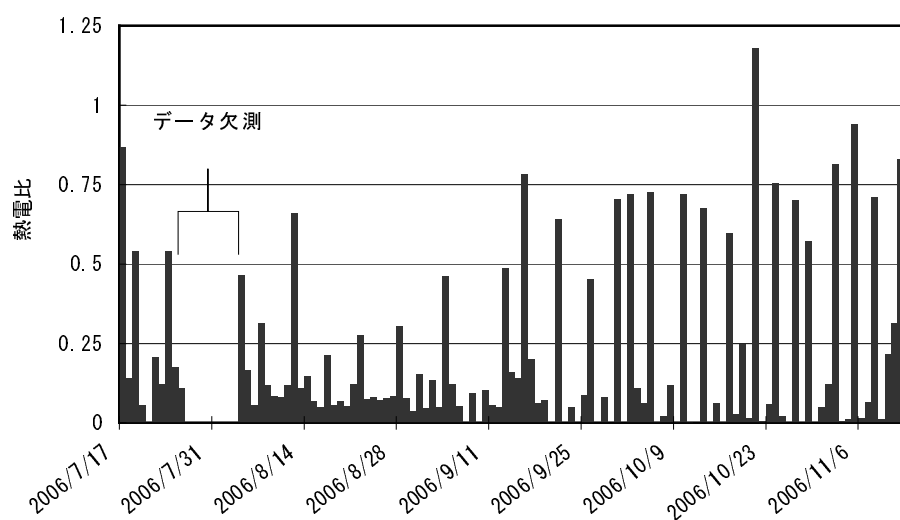


図 3.33 住宅 04 における熱電比の推移

(5) モニター 05

図 3.34 に示すモニター 05 では、夏期に小さなピークが生じているものの、電力使用パターンは基本的に平坦な形となっている。アンケート (表 3.6) によれば、夏期はあまりエアコンを使用せず、冬期もそれ程暖房は行っていないが、無暖房・無冷房の温熱環境に不満を感じていない (表 3.5)。このため、夏期の僅かな期間のエアコン使用による山を除き、電力使用に大きな季節変動がないものと推測される。

図 3.35 に熱電比の推移を示す。電力使用量には年間を通して大きな季節変動がないため、給湯使用量の小さくなる夏期に小さく、給湯使用量の大きくなる冬期に大きくなる傾向にあり、冬期で 1.0 程度、夏期で 0.2 程度であった。

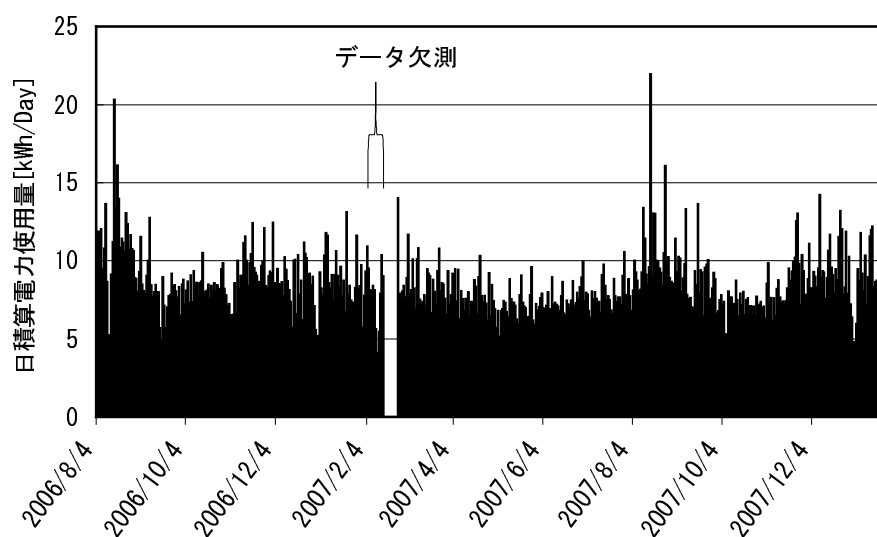


図 3.34 住宅 05 における電力使用状況

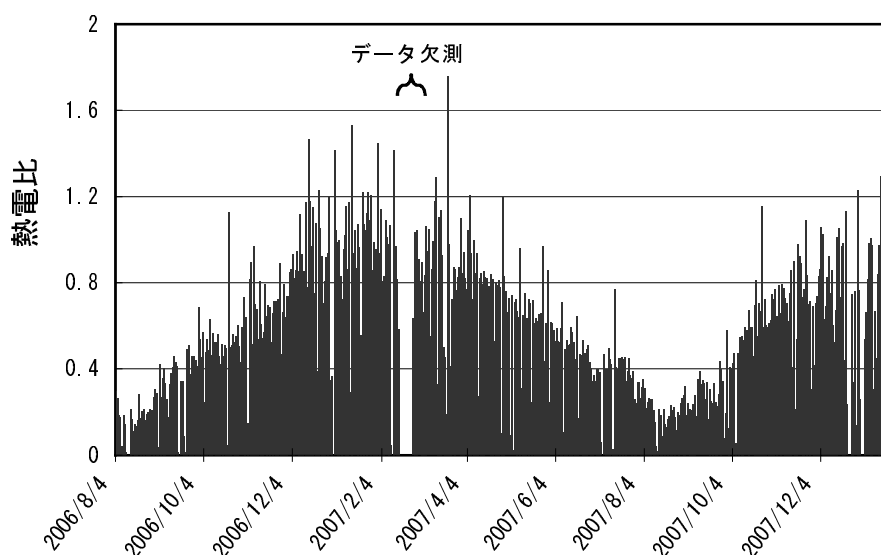


図 3.35 住宅 05 における熱電比の推移

(6) モニター 06

図 3.36 に示すモニター 06 では、夏期にエアコンの使用によるピークが生じているが、冬期は石油による暖房を行っているため、電力使用量は増加していない。ただ、アンケート（表 3.5）からは、冬期の無暖房下の環境に不満をもっていることが分かる。

モニター 06 は、測定期間中の 2008 年 1 月に、同一市内の集合住宅から戸建住宅へ引越しを行っている。引越し後に中間期の負荷が 2kWh/Day 程度増加しているが、これは引越し後に調理器具がガス式から電気式（誘導加熱方式）に変化したこと、住宅照明器具の変化によるものと推測される。

図 3.37 に熱電比の推移を示す。本モニター宅は、年間を通じて電力量使用量に比べて給湯使用量が大いことが特徴である。冬期で 2.5 程度、夏期で 0.5 程度であり、他の住宅に較べて熱電比が大きい。

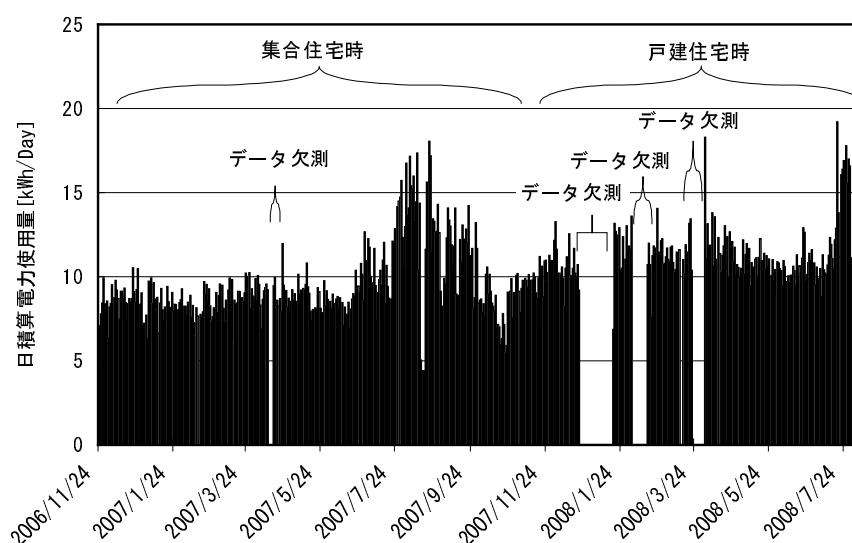


図 3.36 住宅 06 における電力使用状況

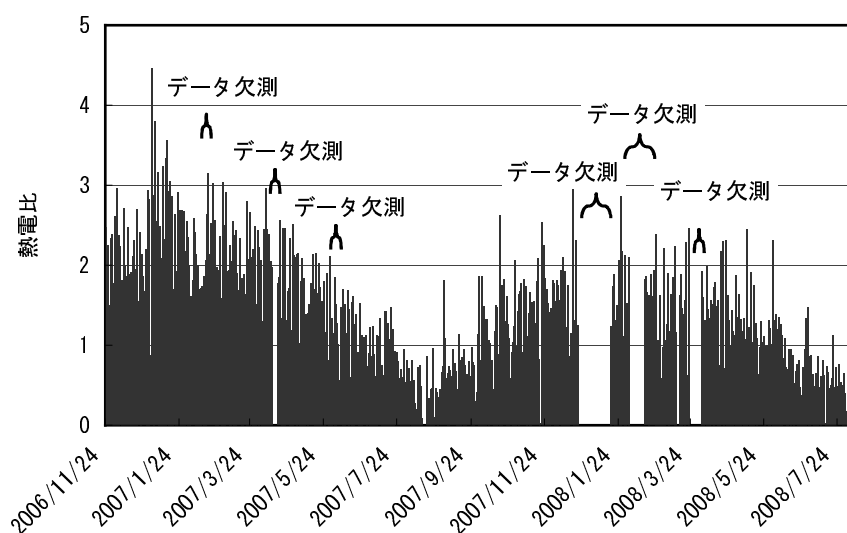


図 3.37 住宅 06 における熱電比の推移

(7) モニター 07

図 3.38 に示すモニター 07 では、夏期と冬期にエアコンの使用による山が生じている。快適性に関するアンケート（表 3.5）によれば、夏期も冬期も無暖房・無冷房下では快適性に対して不満があることに対応しているものと考えられる。

図 3.39 に熱電比の推移を示す。図 3.21 に示すように、夏期のシャワー浴を主とした入浴時の給湯使用量は少なく、冬期の浴槽湯張り入浴を主とした時の給湯使用量は多くなっている。ただ、図 3.38 に示すように、冬期の電力使用量も他の季節に較べて多いため、冬期の熱電比は約 0.7 程度に、夏期の熱電比は約 0.1 程度になっている。

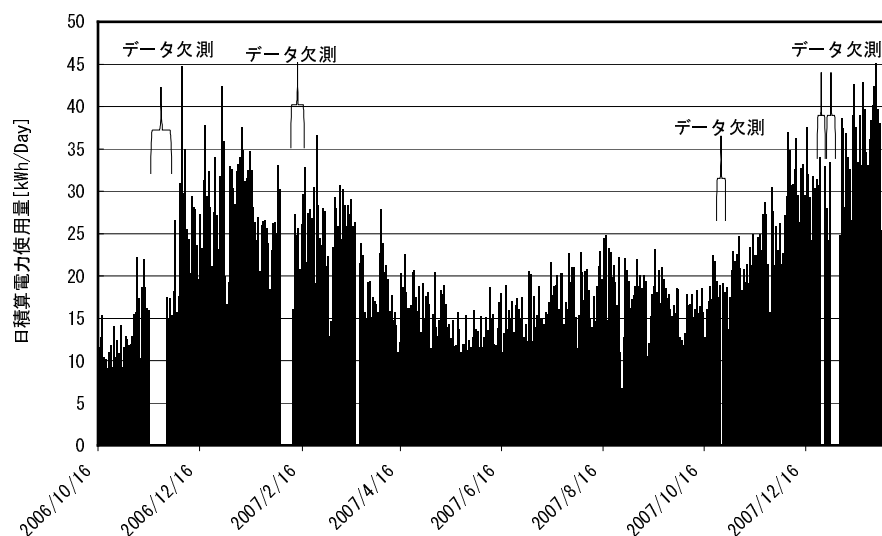


図 3.38 住宅 07 における電力使用状況

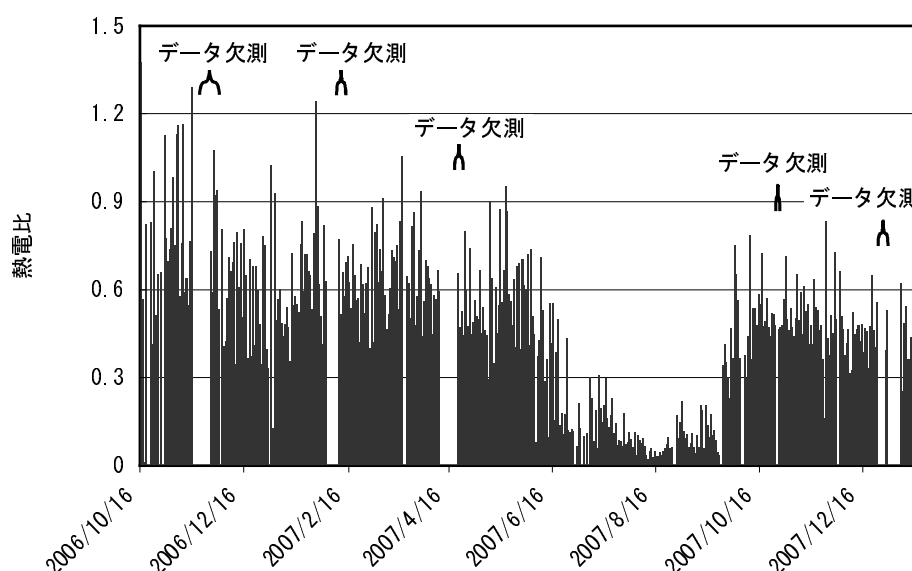


図 3.39 住宅 07 における熱電比の推移

(8) モニター 08

図 3.40 に示すモニター 08 では、夏期と冬期にエアコンの使用による山が生じている。アンケート（表 3.5）によれば、夏期の無冷房下での快適性に不満があり、これが中間期に平均 15kWh/Day 程度である電力使用量を、夏期には倍程度（35kWh/Day）まで大きくしている原因と考えられる。

図 3.41 に熱電比の推移を示す。このモニター宅は、夏期以外は数日間隔で湯張りをを行っているが、夏期はシャワー浴が主となっている。このため、給湯使用量の少ない夏期における熱電比は 0.1 程度と他の季節に較べて小さくなっている。

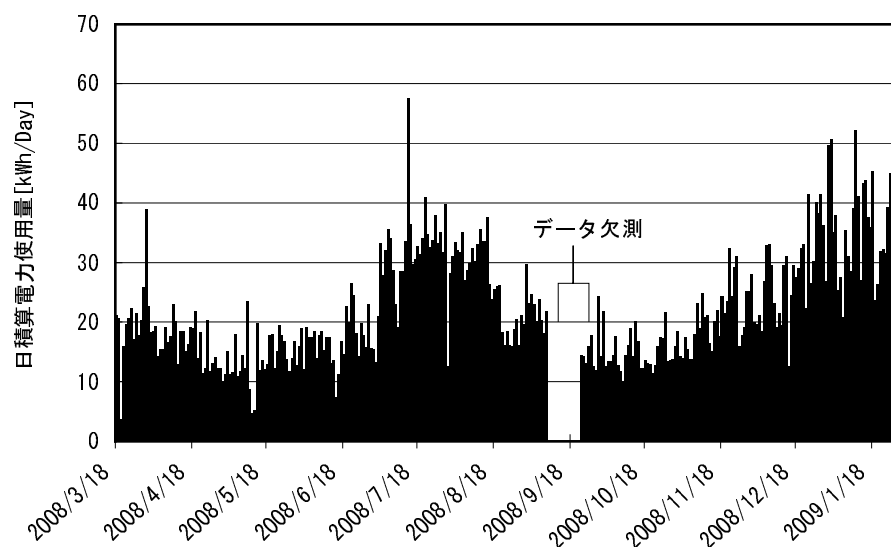


図 3.40 住宅 08 における電力使用状況

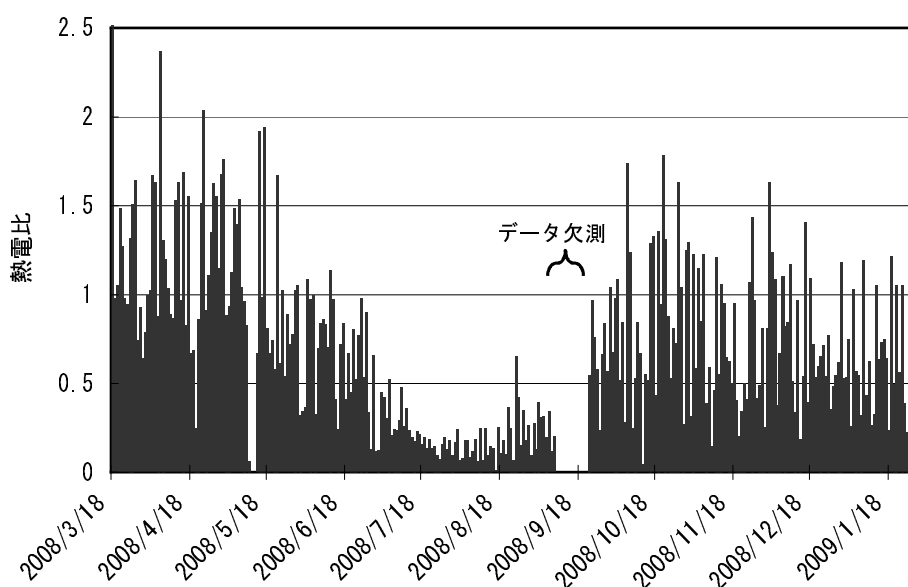


図 3.41 住宅 08 における熱電比の推移

(9) モニター 09

図 3.42 に示すモニター 09 では中間期に較べて、夏期と冬期にエアコン等の使用による電力使用量の増加が見られるが、他の住宅ほど顕著ではない。アンケート（表 3.5）によれば、夏期・冬期ともに無暖房・無冷房下での室内の温熱環境に不満はないと申告しており、それは電力の使用状況の季節推移に対応している。

図 3.43 に熱電比の推移を示す。熱電比は、夏期には 0.1 程度、冬期においては 0.4 程度であった。聞き取り調査によると、給湯の節水に努めているとの申告があり、他の住宅に比べても熱電比は小さい値で推移している。

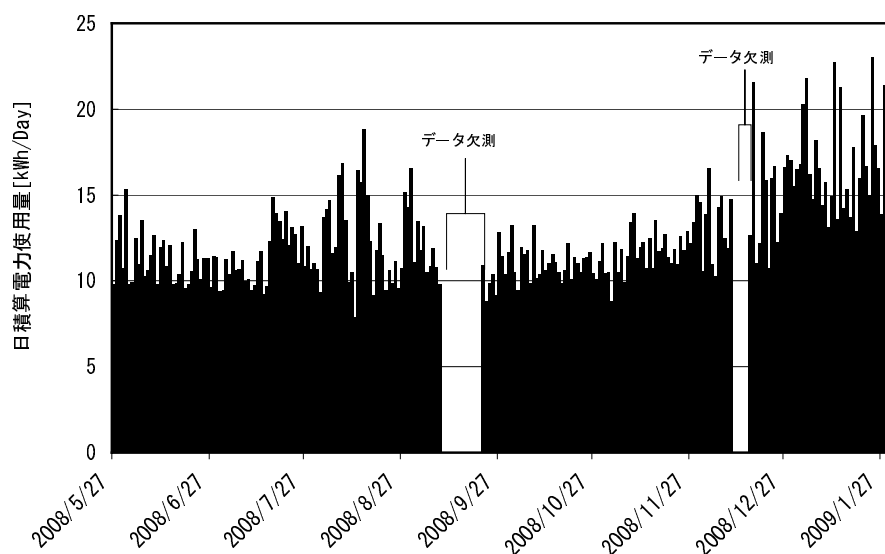


図 3.42 住宅 09 における電力使用状況

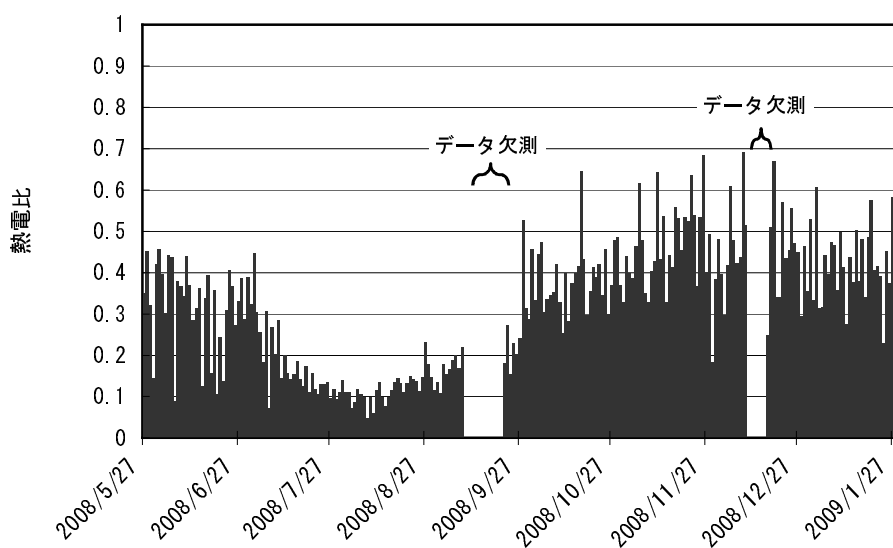


図 3.43 住宅 09 における熱電比の推移

(10) モニター 10

図 3.44 に示すモニター 10 では、夏期に、落雷により測定器が故障したため欠測期間が生じているが、夏期よりも冬期に電力使用のピークが生じていると考えられる。アンケート（表 3.5）によれば、夏期の温熱環境への不満が述べられているが、冬期に関しては特に温熱環境への不満は申告されていない。聞き取り調査によると、夫が冬期は暖かい室内環境を好むため暖房を多用しているとのことであった。また、暖房は電気により行われており、エアコン及びホットカーベットの使用により電力使用に大きなピークが生じている。

図 3.45 に熱電比の推移を示す。熱電比は、夏期には 0.2 程度で、冬期においては 0.25 程度であった。モニター 10 では、冬期において、水温の低下に伴う給湯使用量の増加と同程度の割合で電力使用量が増加するため、暖冷房用の電力需要のない中間期において熱電比は最も大きくなる。

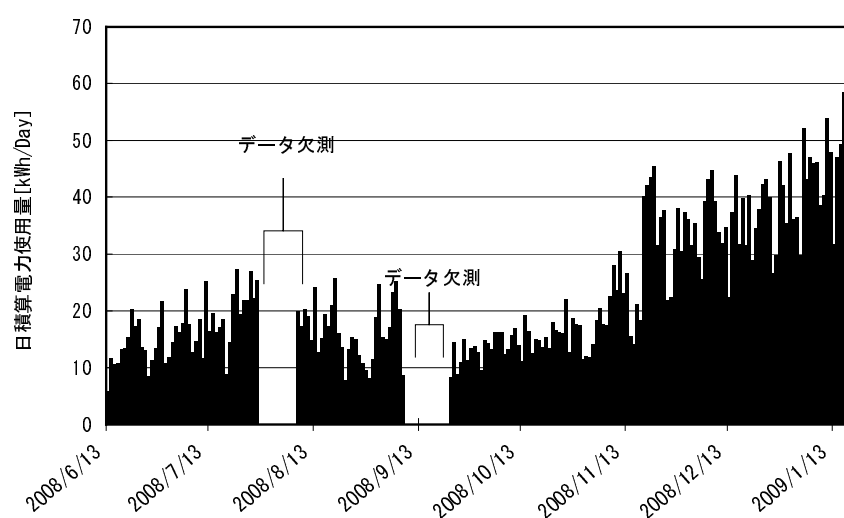


図 3.44 住宅 10 における電力使用状況

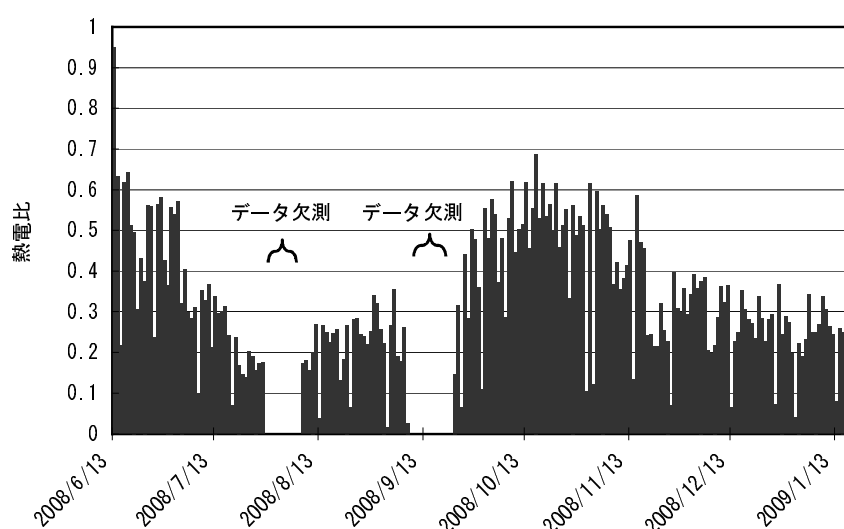


図 3.45 住宅 10 における熱電比の推移

3.5 考察

測定を行った10軒の住宅のうち、測定期間が1年以上あった9軒の住宅の給湯使用について分析を行った。表3.4の1週間あたりのシャワーや浴槽湯張りの回数及び給湯使用に関する測定結果より、入浴スタイルをほぼ3通り(1.年間を通して浴槽湯張り入浴の住宅、2.季節によりシャワー又は浴槽湯張りどちらか一方で入浴する住宅、3.年間を通してシャワー浴を基本とし、数日毎に浴槽湯張り入浴をする住宅)に分類できた。

夏期のみシャワー浴で、その他の季節は浴槽湯張り入浴を行うモニターにおける測定結果から、年間を通じて浴槽湯張り入浴の住宅が、夏期の入浴スタイルをシャワー浴に変更した場合の給湯使用量の削減効果を推定した。例えば、モニター01は、入浴スタイルの"2"(季節によりシャワー又は浴槽湯張りどちらか一方で入浴する住宅)に分類されるが、もし、入浴スタイルを"1"(年間を通して浴槽湯張り入浴)に変更すると、年間で9%程度給湯エネルギー消費が増加すると予測される。よって、夏期に湯張り入浴を行っている住宅が、夏期における入浴スタイルをシャワー浴へと変えた場合、給湯エネルギー消費の削減が期待できるといえる。

ただ、水谷らのアンケート結果⁴⁾からは、入浴スタイルの変更に対しては居住者の心理的な抵抗感があり、年間を通して湯張りを行っている住宅に対して入浴スタイルの変更を要求するのは難しいと考えられる。

ところで、年間を通して湯張り入浴を行うスタイルの住宅でも、夏期と冬期で給湯使用水量に差がない住宅(例えばモニター10)と差がある住宅(例えばモニター06)があった。給湯の使用状況の分析から、夏期と冬期で給湯使用水量の差が大きい住宅は冬期にシャワーを多用する住宅であり、夏期と冬期で給湯使用水量の差が少ない住宅は夏期も冬期もシャワーの使用状況に変化がない住宅であることがわかった。

この冬期のシャワーの使用状況の差の原因を調べるため、住宅内の温熱の快適性(表3.5)及び給湯の使い方(表3.3)に関する2つのアンケート結果を検討した。その結果、冬期にシャワーを“ふんだん”に使用すると回答した住宅では、冬期の無暖房の温熱環境に対して不満があることがわかった。よって、冬期の温熱環境への不満を解消し、冬期のシャワーの多用を抑制できれば、年間を通して湯張り入浴をする住宅においても給湯使用量の削減が可能になると考えられる。

また、給湯設定温度は、表3.1に示すように、夏期よりも冬期のほうが給湯温度の設定値は高い。これは平手ら⁶⁾のアンケートにおける、入浴の目的として“冬は保温のため”が多くあげられていることに対応しているものと考えられる。

従って、冬期において入浴スタイルの変更(湯張り浴からシャワー浴への変更)は難しくても、給湯温度の設定を低くできるならば、ある程度の給湯消費量の削減につながるものと考えられる。これについては、札幌のような全室暖房を行っている寒冷地では“冬は保温のため”との回答は少ないという同じ平手らのアンケート結果は、室内の温熱環境改善により給湯用エネルギー消費を減らすことが可能という推論を支持するものと考えられる。(これについては第5章において、給湯温度と室内の温熱環境との関係という観点からより詳細な検討を行う。)

日積算給湯使用量と日積算電気使用量をもとにした熱電比の推移をみると、大半の住宅で

は、夏期には給水温度の上昇と給湯温度の低下に伴い給湯使用量は減少し、エアコン等の使用により電力使用量は増加している。冬期は給水温度の低下と給湯温度の上昇に伴い給湯使用量は逆に増加するが、電力使用量は主たる暖房方式がエアコンの場合には大きく増加するが、コタツや灯油ファンヒータ等を使用している住宅では、あまり増加しない。このため、熱電比は主たる暖房方式がエアコンでない住宅では夏期に小さく冬期に大きくなる傾向にあるが、主たる暖房方式がエアコンの住宅においては、夏期と冬期の比率が同程度（モニター 03、10）で中間期にピークが生じていた。

このように、冬期における主たる暖房方式により、熱電比の推移は大きく異なる。よって、冬期の給湯にコージェネレーションシステムを用いる住戸では、同時に発生する電力の利用を考慮すると、住宅内の暖房は電気方式によるものが適切であるといえる。

ところで、高効率給湯器の中で、蓄熱槽を持つ給湯システム（例えば、固体高分子型燃料電池や自然冷媒式ヒートポンプ給湯器など）では、翌日の日積算給湯使用量の必要量を予測して蓄熱運転を行っているが、過剰な蓄熱による放熱損失を防ぐためには精度の高い予測が重要となる。そこで次章（第4章）では、今回の測定結果等を用いて、日積算給湯使用量の予測式を提案する。

3.6 第3章のまとめ

本章では、住宅のエネルギー消費の多くを占める給湯用途のエネルギー消費について、給湯使用状況の把握及び住宅内の温熱環境に関するアンケートを行った。その結果、入浴スタイルは大略3通り（1.年間を通して浴槽湯張り入浴をする住宅、2.季節によりシャワー又は浴槽湯張りどちらか一方で入浴する住宅、3.年間を通してシャワー浴を基本とし、数日毎に浴槽湯張り入浴をする住宅）に分類できることがわかった。

給湯使用量の季節変動は、給水・給湯温度とともに入浴スタイルにより大きく影響されることが分かった。例えば、年間を通して湯張り入浴をしている住宅における夏期と冬期の給湯消費量の差は、夏期と冬期の給湯・給水温度の差にほぼ比例して4倍程度であったのに対して、季節によりシャワー又は浴槽湯張りどちらか一方で入浴する住宅では、夏期と冬期の給湯消費量の差は約10倍（モニター 01の場合）となった。

入浴スタイルの自発的な変更は難しいが、季節によりシャワー又は浴槽湯張りどちらか一方で入浴する住宅における測定データより、年間を通して湯張り入浴をする住宅が入浴スタイルを変更（夏場の湯張り入浴をシャワー浴に変更）すれば、給湯使用量は大きく削減されている可能性があると言える。

年間を通して浴槽湯張り入浴をするグループにおいて、その給湯使用量の季節変動が水温の変化のみでは説明できない住宅があった。このような住宅では、冬期にシャワーを多用しており、かつ無暖房時の温熱環境に対して不満があることがわかった。

また、日積算給湯使用量と日積算電気使用量をもとにした熱電比は、主たる暖房方式がエアコンでない住宅の熱電比は、夏期に小さく冬期に大きくなる傾向にあった。一方、主たる暖房方式がエアコンの住宅（モニター 03、10）では、夏期と冬期の比率が同程度で中間期にピークが生じていた。このように、熱電比の季節変動は主たる暖房方式の熱源に大きく左右されるよることがわかった。

参考文献

- 1) 乾義尚, 武藤利英, 前田哲彦:電力・給湯負荷実測値に基づく集合住宅用PEFC μ CGS の容量と運転方法の検討, 電気学会論文誌 B, 128 巻 3 号, pp.451-458, 2008
- 2) 田中英紀, 石橋良太郎, 足立拓哉, 奥宮正哉:ガスエンジンシステムに対する発電機と貯湯槽の容量設計法 家庭用コージェネレーションシステムの計画・設計手法に関する研究 その 1, 日本建築学会環境系論文集, 第 595 号, pp.65-72, 2005.9
- 3) 長谷川善明, 井上隆:全国規模アンケートによる住宅内エネルギー消費の実態に関する研究 世帯特性の影響と世帯間のばらつきに関する考察 その 1, 日本建築学会環境系論文集, 第 583 号, pp.23-28, 2004.9
- 4) 水谷傑, 井上隆, 小熊孝典 :住宅内における用途別エネルギー消費と住まい方の実態に関する研究 アンケート調査に基づく分析 , 日本建築学会環境系論文集, 第 609 号, pp.117-124, 2006.11
- 5) 村上周三他:平成 17 年度 住宅用エネルギー消費と温暖化対策委員会 報告書, 社団法人 日本建築学会, pp.1-22, 2006.3
- 6) 平手小太郎, 飯尾昭彦, 鎌田元康, 浅野良晴, 石渡博, 紀谷文樹, 桑沢保夫, 坊垣和明, 市川憲良, 田中正敏:住宅用給湯設備の使用感に関するアンケート調査 第 2 報 - 浴室周りの調査および湯使用時の要求水準, 空気調和・衛生工学会論文集, No.52, pp.71-80, 1993 年 6 月

第4章 給湯使用量予測

4.1 はじめに

本章では、蓄熱槽をもつ給湯システムを対象とし、過去の給湯使用に関する情報をもとに、翌日の日積算給湯使用量を予測する手法について検討する。なお、予測の対象とするのは前章で測定したモニターである。

4.2 生活スタイルを考慮した給湯使用量の積算開始時刻の設定

予測する1日の積算給湯使用量について、前章では0時から始まる24時間をもって日積算給湯使用量としていた。ところが、居住者の生活スタイルを考えた場合、午前0時を基準とするのがふさわしくない場合があった。例えば、図4.1にモニター05における日積算給湯使用量の推移を示す。この住宅においては、年間10回ほど鋭いピークが発生している。例えば、2007年1月10日から1月30日までの21日間の日積算給湯使用量を図4.2に示す。1月14日及び1月21日に鋭いピークが生じているが、それらの前日にあたる1月13日及び1月20日においては、平日に較べて給湯の使用量が少ない。

そこで、その原因を探るために、1月20日～21日の1時間単位の給湯使用量を図4.3に示す。これによると、1月20日は午後2時前後に少量の給湯使用があり、午後5時から午前0時までには使用されていない。1月21日は、午前0時に使用が観測されているが、この深夜の給湯使用は、居住者が何らかの理由により通常より遅い時刻に入浴したためと推測される。このような、生活行為のまとまりとしては1月20日の使用とみなされるのが自然な深夜の給湯使用が、形式的に午前0時を基準としたため1月21日に計上されてしまい、図4.2における状況（ピーク）が生じたと言える。同様の現象が1月13日～14日にも観測されている。

よって、モニター05における生活状況及び給湯使用状況を考慮して、午前4時を基準として日積算給湯使用量を算出したものを図4.4下に示す。午前0時を基準とした、従来の時間区切りによる日積算値（図4.4上図）と較べ、鋭いピークの発生回数がかなり減少している。

このように、居住者の生活スタイルを考慮することにより、日積算値の極端なピークの発生を減らすことができる。他の住宅についても同様な検討をした結果を図4.5～図4.12に示す。モニター01のように基準時刻を変更しても極端な日積算値の発生にほとんど変化がない住宅もあるが、モニター06や07では日積算の開始時刻の変更により極端な日積算値の発生回数が減ることが分かる。よって、以下では、各住宅における生活のまとまりを考慮した24時間単位の日積算値を用いて給湯使用量についての予測を行う。

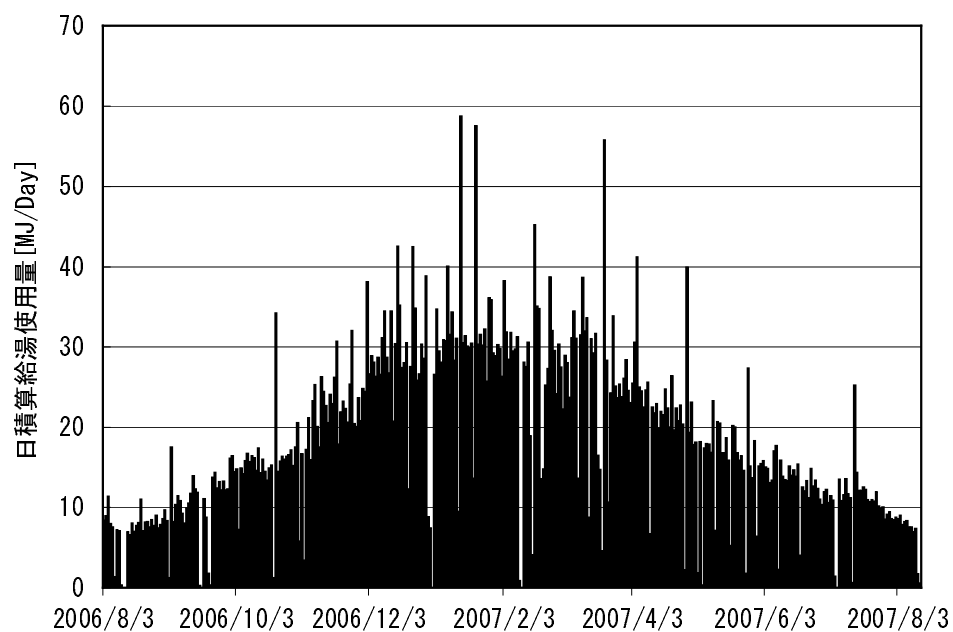


図 4.1 モニター 05 における日積算給湯使用量

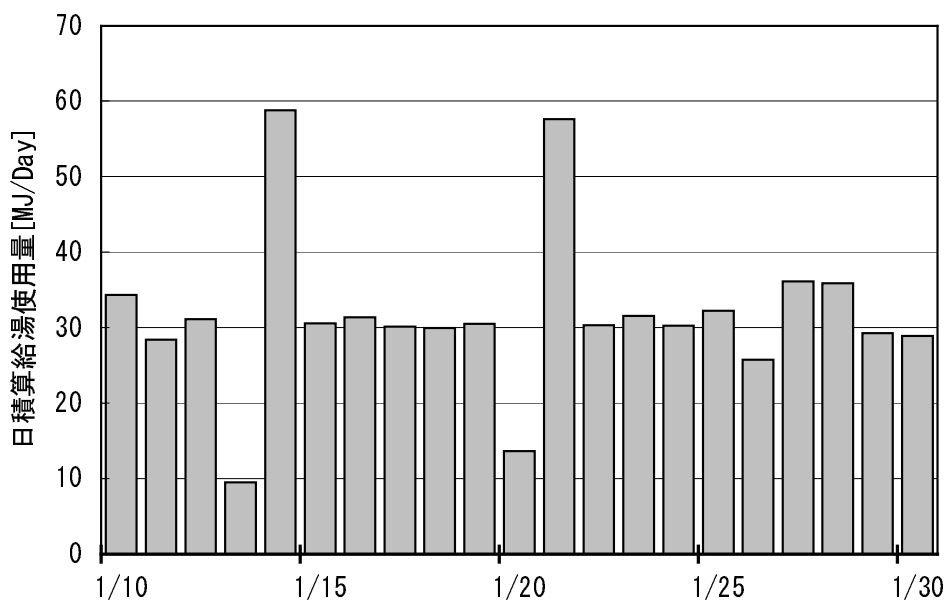


図 4.2 2007 年 1 月 10 日 ~ 30 日における日積算給湯使用量 (モニター 05)

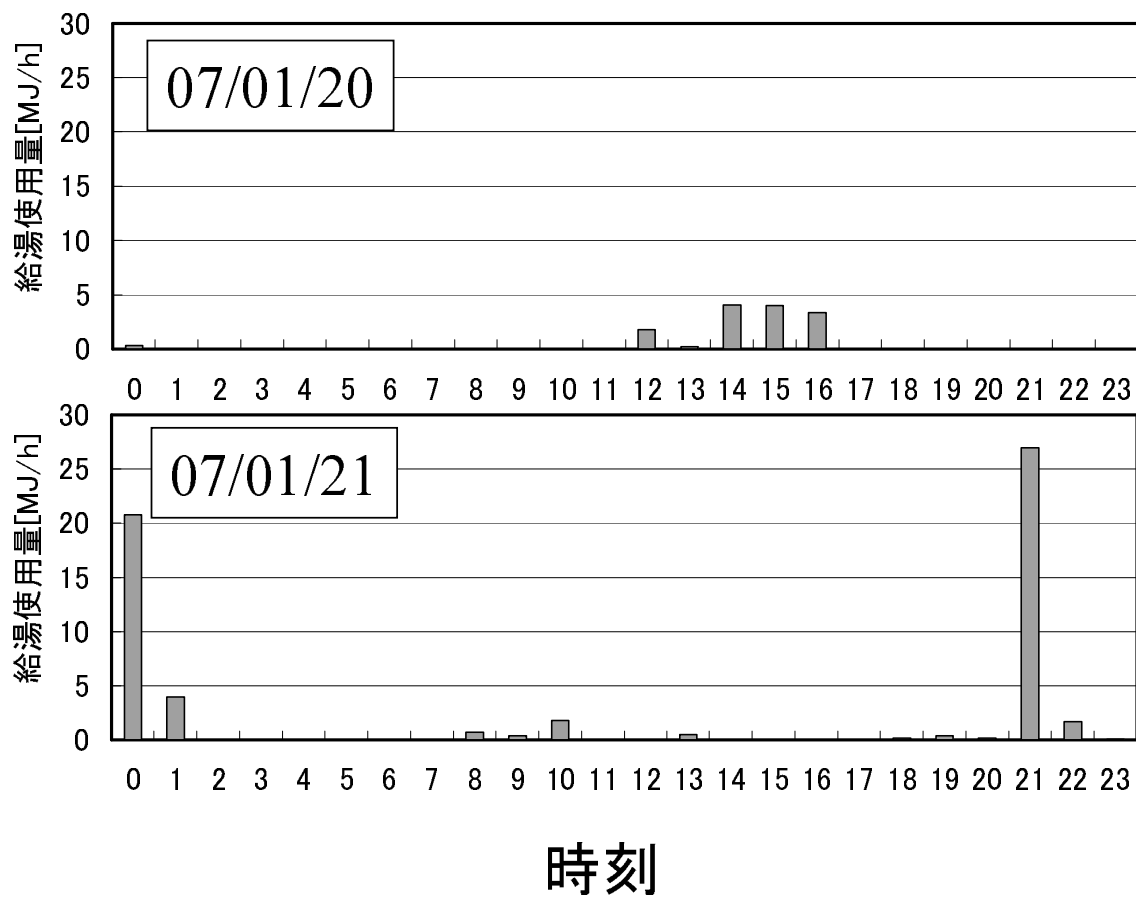


図 4.3 2007 年 1 月 20 日～21 日における給湯使用量の 1 時間積算値（モニター 05）

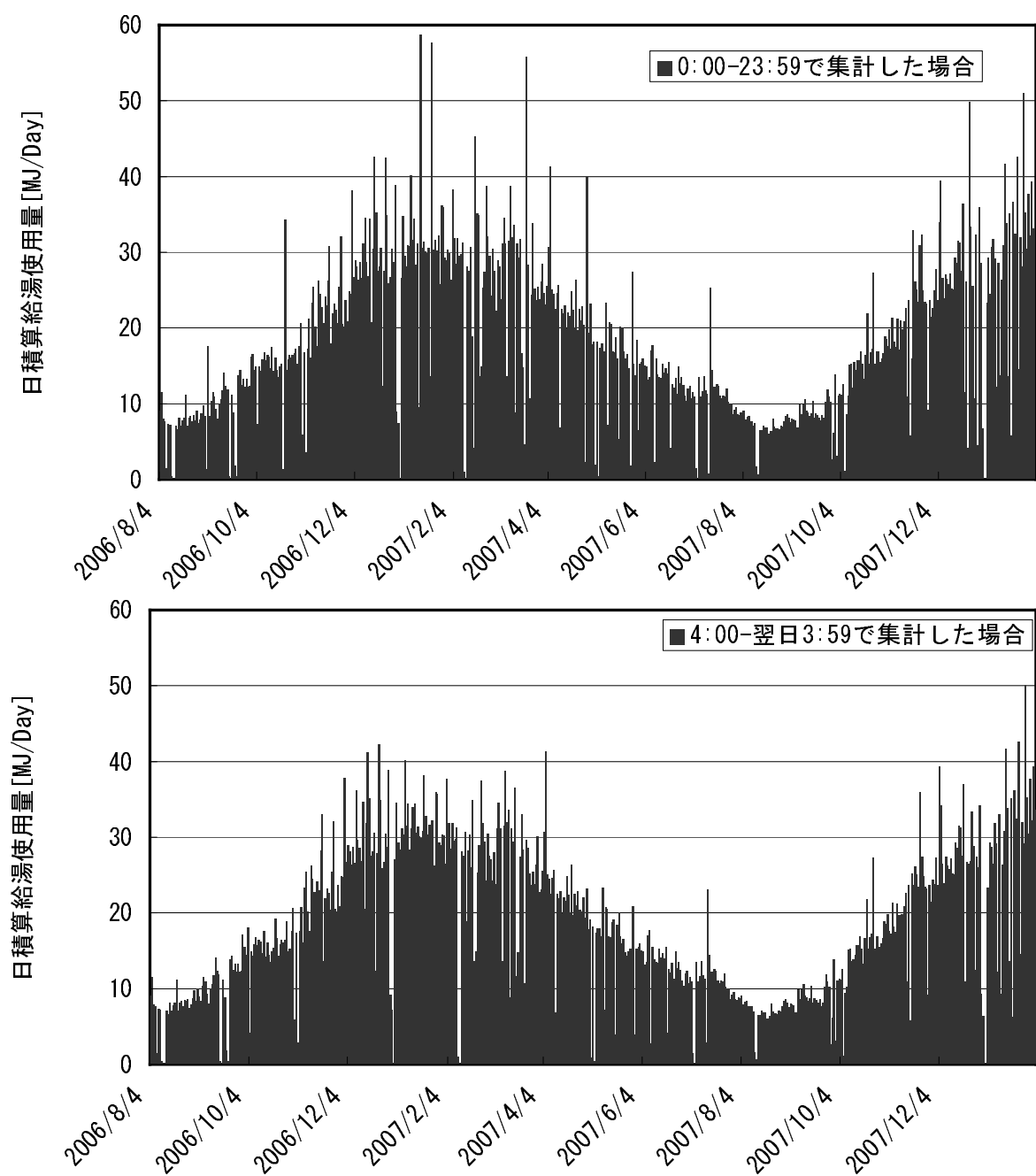


図 4.4 モニター 05 における日積算給湯使用量の積算基準時刻による違い
(上図: 積算時間 0:00-23:59 の場合、下図: 積算時間 4:00-翌日 3:59 の場合)

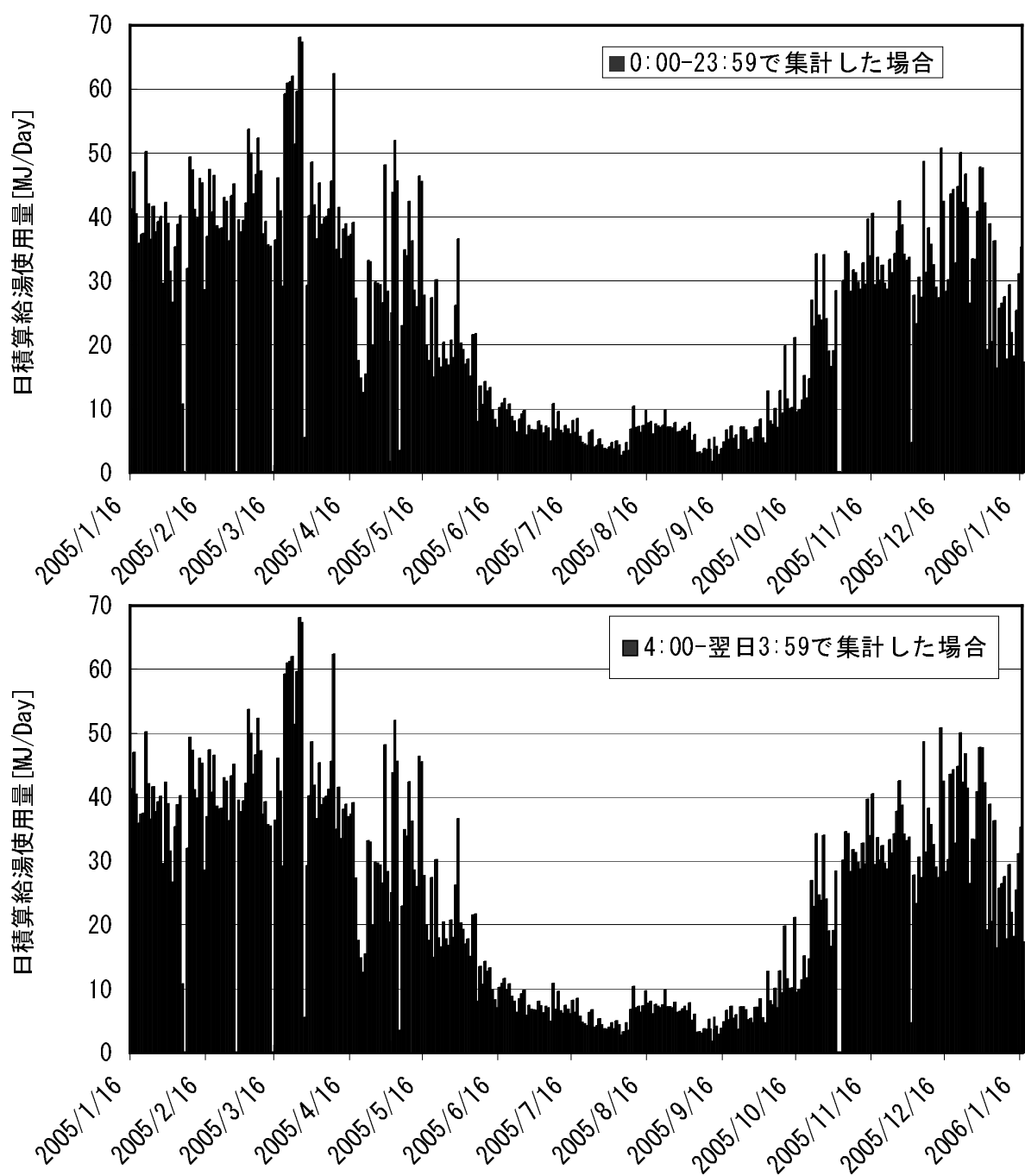


図 4.5 モニター 01 における日積算給湯使用量の積算基準時刻による違い
(上図: 積算時間 0:00-23:59 の場合、下図: 積算時間 4:00-翌日 3:59 の場合)

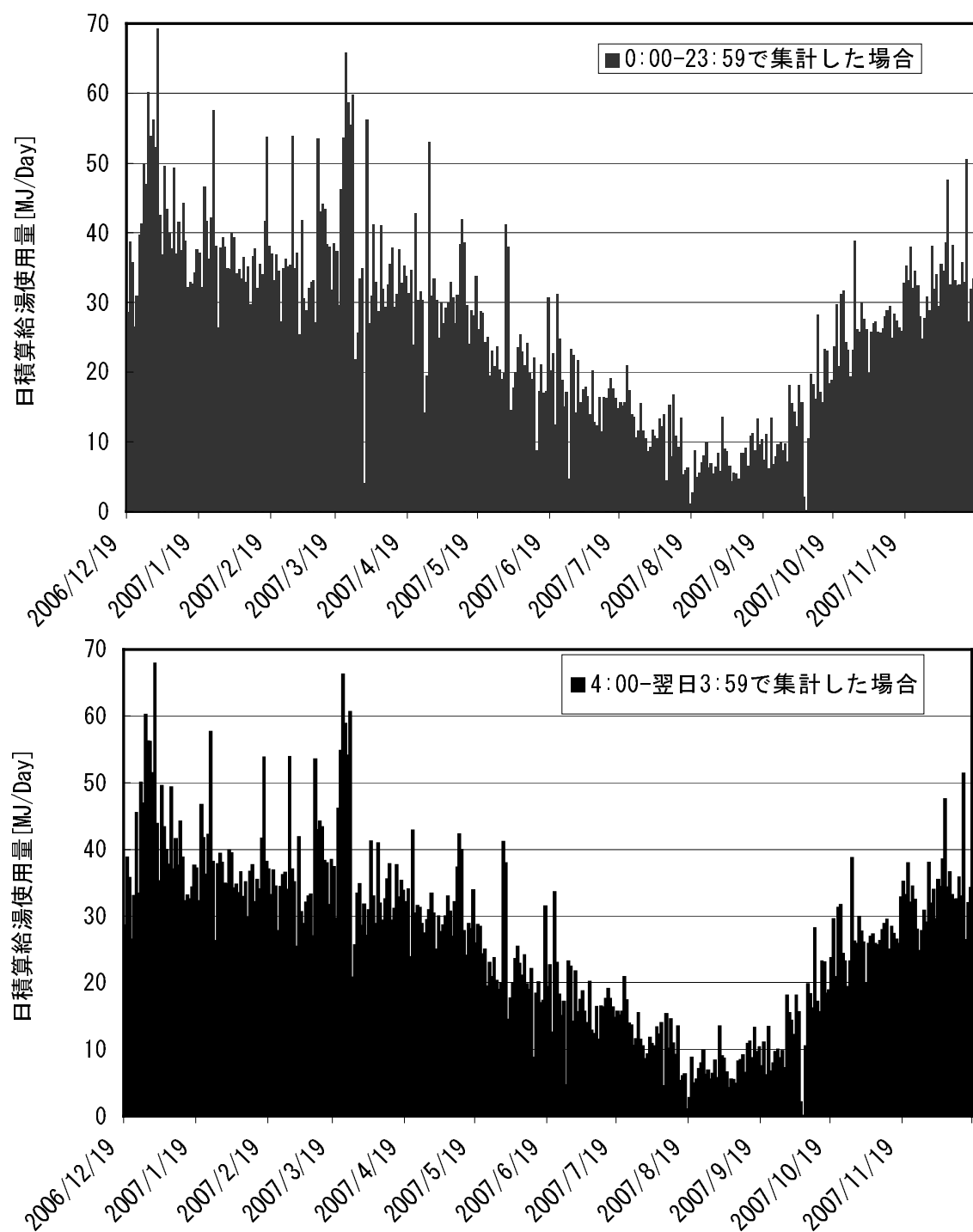


図 4.6 モニター 03 における日積算給湯使用量の積算基準時刻による違い
(上図：積算時間 0:00-23:59 の場合、下図：積算時間 4:00-翌日 3:59 の場合)

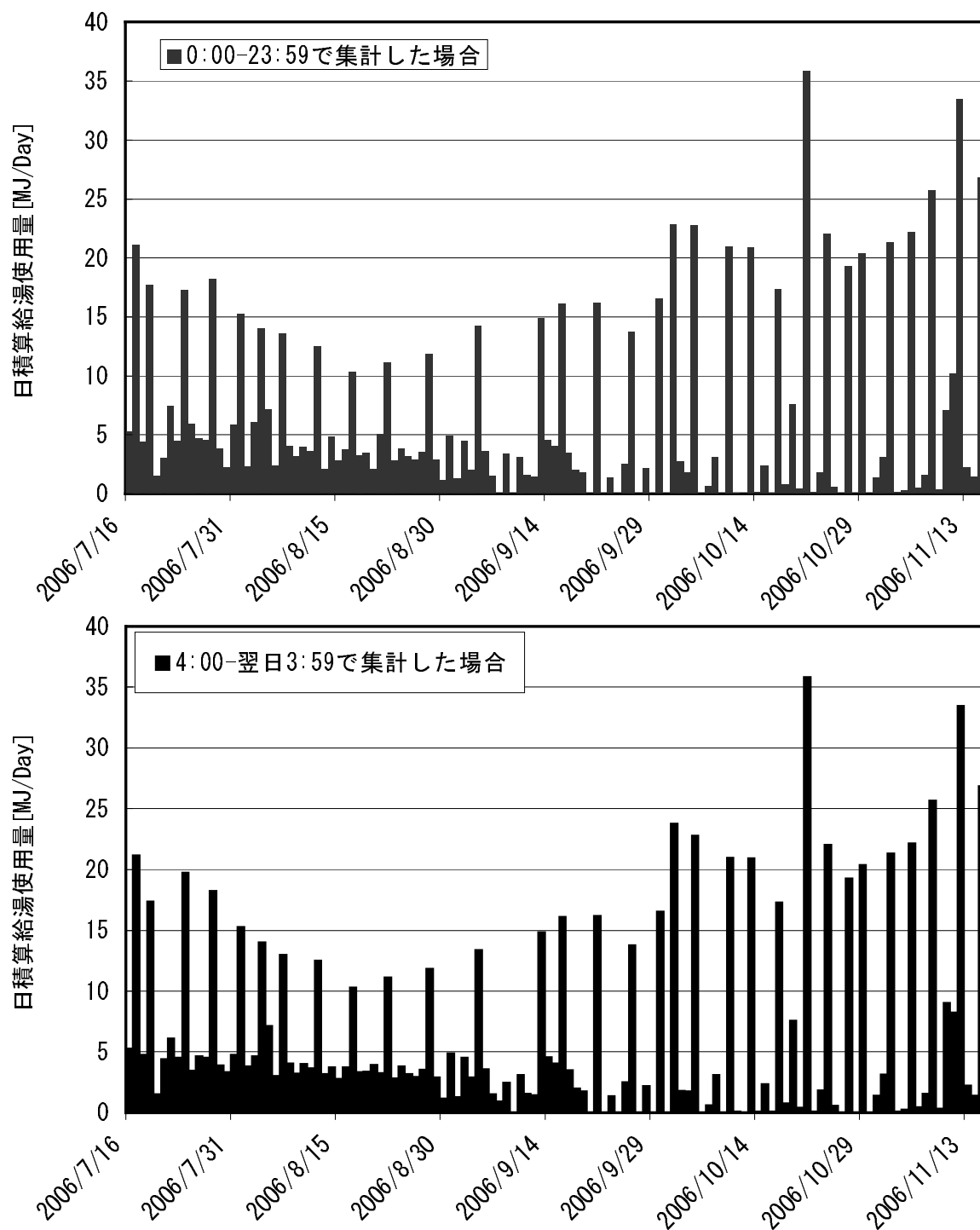


図 4.7 モニター 04 における日積算給湯使用量の積算基準時刻による違い
(上図：積算時間 0:00-23:59 の場合、下図：積算時間 4:00-翌日 3:59 の場合)

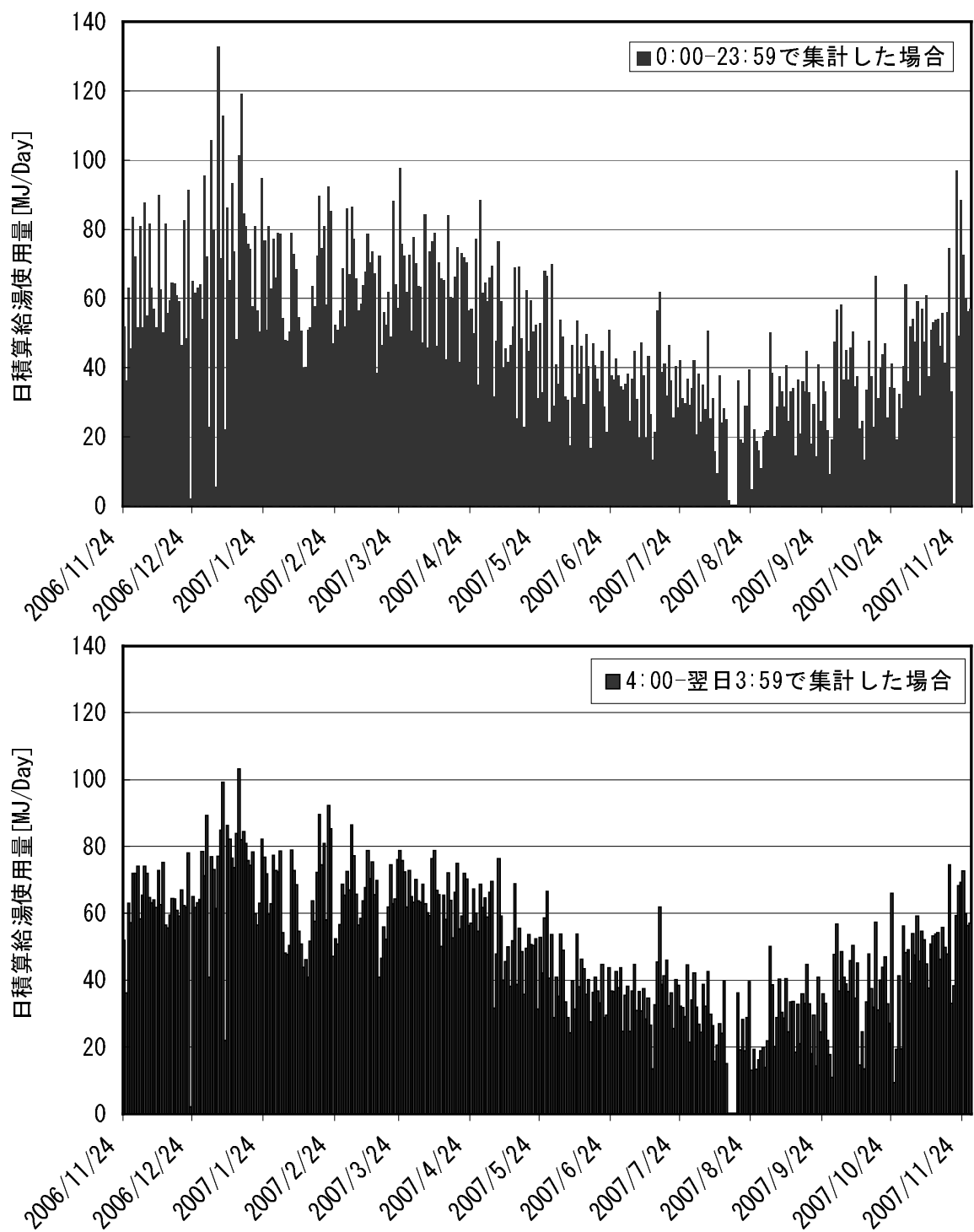


図 4.8 モニター 06 における日積算給湯使用量の積算基準時刻による違い
(上図: 積算時間 0:00-23:59 の場合、下図: 積算時間 4:00-翌日 3:59 の場合)

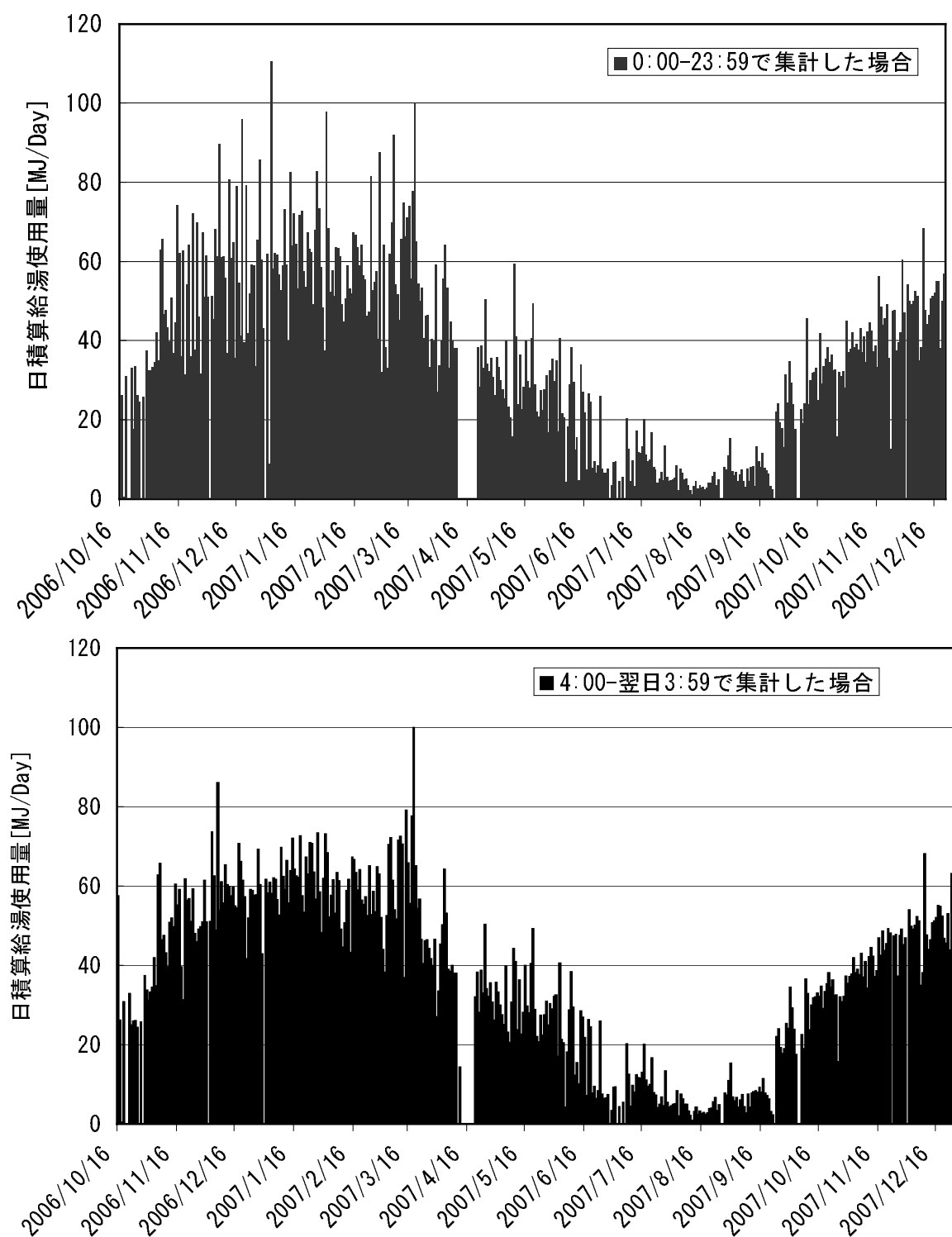


図 4.9 モニター 07 における日積算給湯使用量の積算基準時刻による違い
(上図：積算時間 0:00-23:59 の場合、下図：積算時間 4:00-翌日 3:59 の場合)

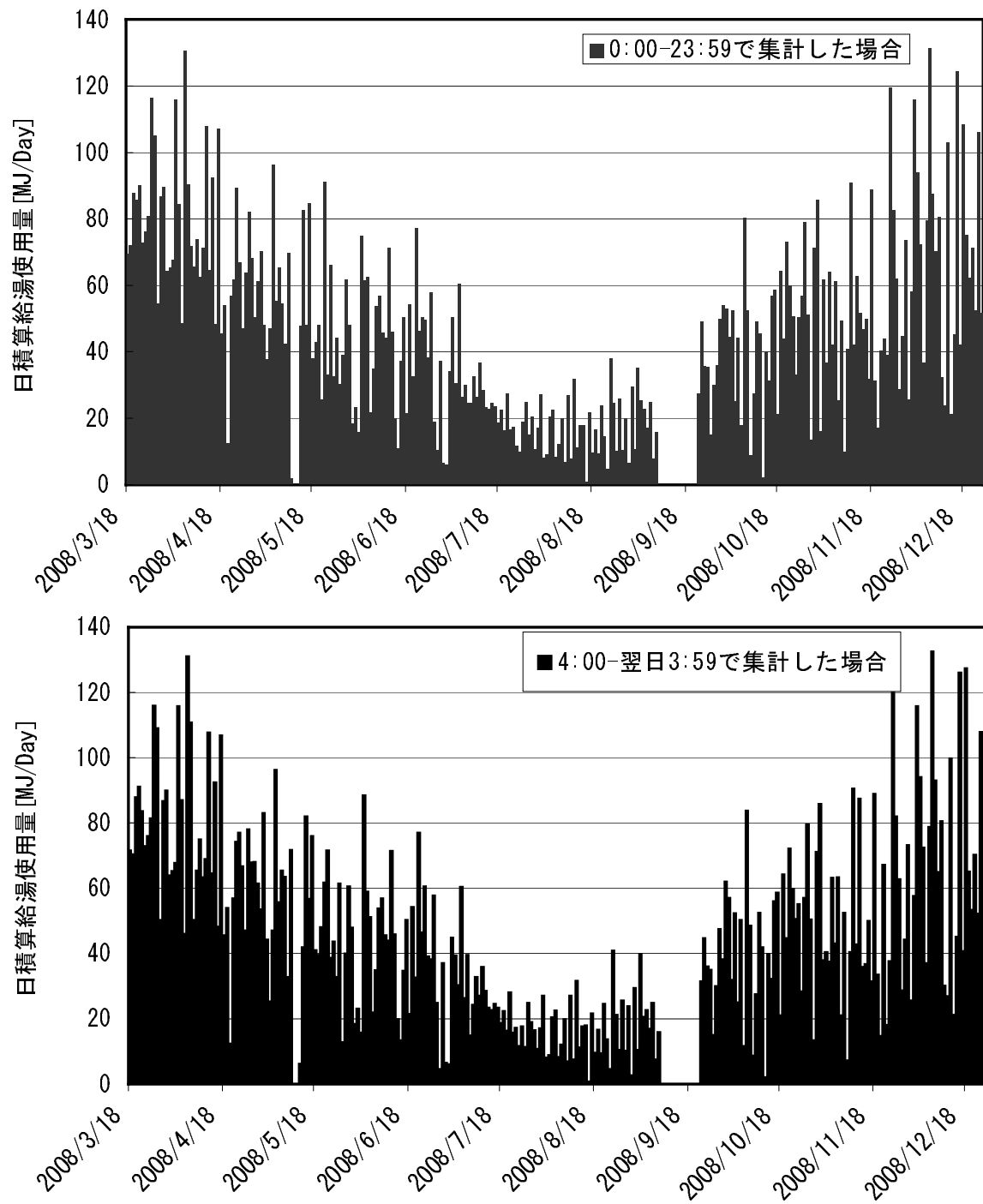


図 4.10 モニター 08 における日積算給湯使用量の積算基準時刻による違い
(上図：積算時間 0:00-23:59 の場合、下図：積算時間 4:00-翌日 3:59 の場合)

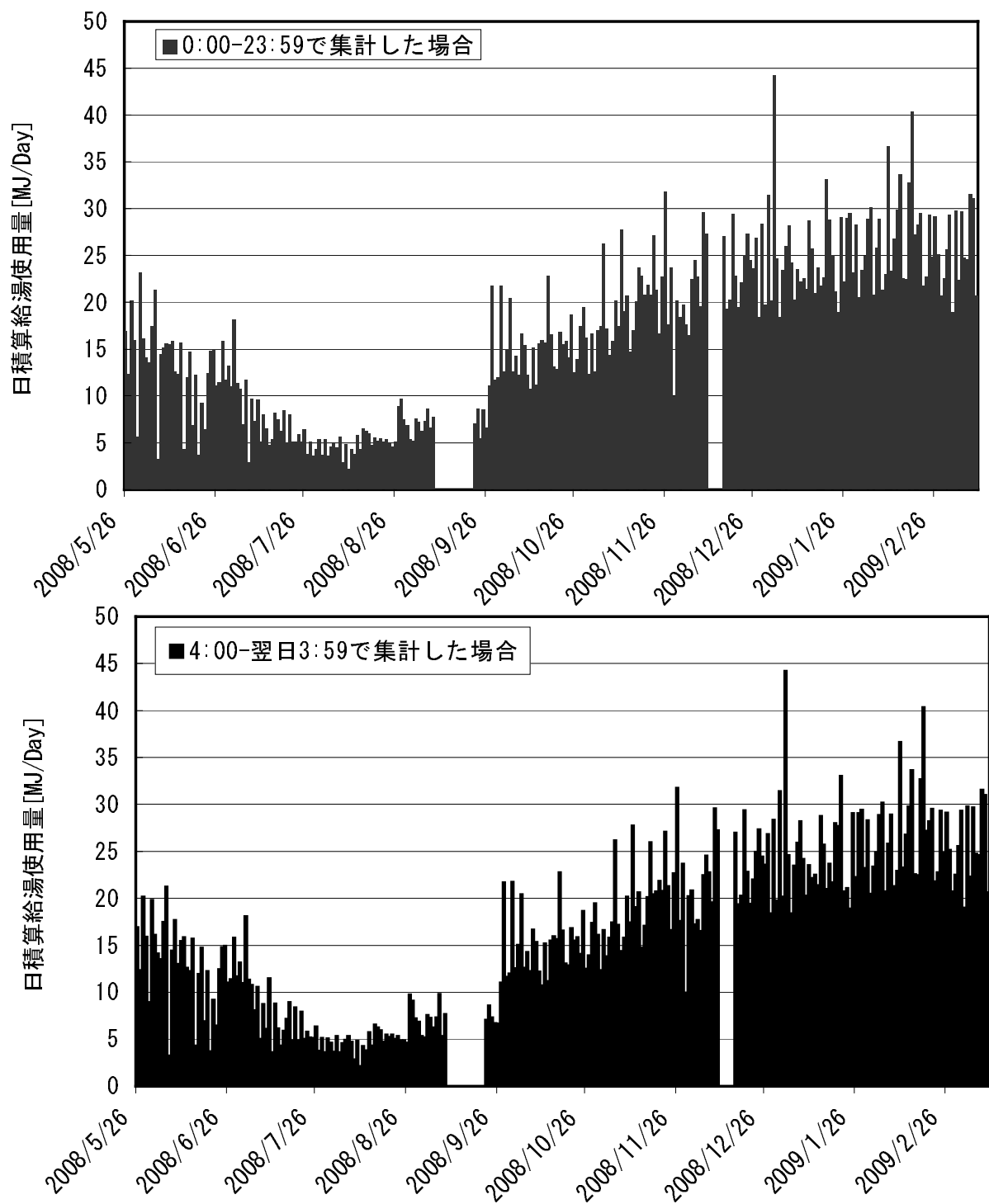


図 4.11 モニター 09 における日積算給湯使用量の積算基準時刻による違い
(上図: 積算時間 0:00-23:59 の場合、下図: 積算時間 4:00-翌日 3:59 の場合)

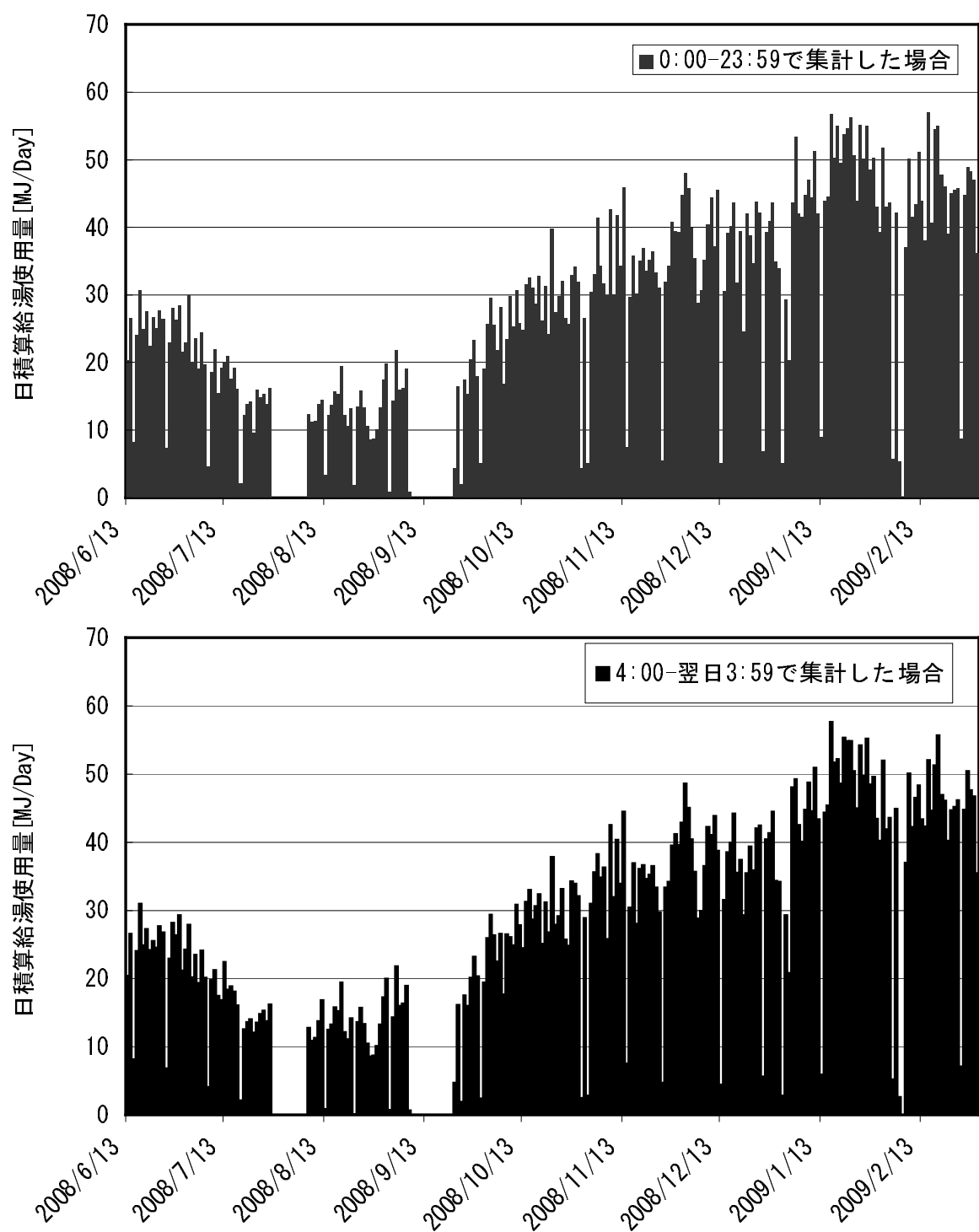


図 4.12 モニター 10 における日積算給湯使用量の積算基準時刻による違い
(上図：積算時間 0:00-23:59 の場合、下図：積算時間 4:00-翌日 3:59 の場合)

4.3 入浴習慣に基づく入浴パターンの分類

表 3.4 に示したように、各住宅における入浴方法（湯張りかシャワーか）は、多くの場合季節ごとに変化する。また、図 3.11 から図 3.26 に示した給湯使用量の日変動特性も、住宅により様々である。このように多様な変動特性を持つ給湯使用量を予測する場合、確率時系列として扱うのが自然であるが、それには通常給湯使用の定常的成分と非定常的成分に分けて、それぞれの負荷の予測を行う必要がある。

そこで、まず、各住宅における入浴方法（シャワーによる入浴か浴槽湯張りによる入浴かなど、以下「入浴スタイル」と呼ぶ）の変動に注目した。まず、年間を通してシャワー浴を基本として数日毎に湯張り入浴を行うモニター 08（図 4.13）のような住宅と、モニター 01（図 4.14）のような季節に応じて、湯張り入浴又はシャワー浴の何れかを主とした入浴を行っている住宅の 2 群に分類した。

年間を通してシャワー浴を基本として数日毎に湯張り入浴を行う住宅は、モニター 02、04 及び 08 の 3 軒であった。残りの 7 軒の住宅では、季節に応じて、湯張り入浴又はシャワー浴の何れかを主とした入浴を行っている。ただ、日中の給湯使用に関しては、曜日によって給湯使用特性が共通ではなかった。

例として、モニター 06 の 2007 年 6 月の給湯使用状況を図 4.15 に示す。モニター 06 では、夜間の給湯使用は毎日存在するが、日中の給湯使用は週末に限られ、平日にはあまりみられない。このモニター 06 における、日中と夜間の給湯使用の曜日依存性を調べるために、2006 年 11 月 24 日から 2007 年 12 月 7 日を対象として、各日の給湯使用量を午前 4 時から午後 4 時までの積算値（「日中の給湯使用」と定義する。）と、午後 5 時から翌日午前 3 時までの夜間の積算値（「夜間の給湯使用」と定義する。）に分離し、曜日毎にまとめた結果を図 4.16 に示す。土曜及び日曜の日中の給湯使用回数は、他の曜日に較べて多い。また、夜間の給湯使用には、日中の給湯使用ほど曜日による違いはなかった。

他の住宅についても日中及び夜間の給湯使用の曜日依存性に着目して調べたところ、モニター 09 においても、図 4.17 に示すように日中の給湯使用の曜日依存性が見出された。そこで、この給湯使用の発生原因についてモニター 06 及びモニター 09 に対して聞き取り調査を行ったところ、日中はスポーツジム（モニター 06 の場合）又はテニス（モニター 09 の場合）へ行き、その後自宅でシャワー等の入浴をしているとのことであった。

モニター 06、09 で観測された日中の給湯使用の曜日依存性は、残りの 5 軒の住宅においては見られなかった。モニター 01 及び 03 を例として、これらの住宅の曜日別の給湯使用を図 4.18 及び 4.19 に示す。モニター 01 では、日中の給湯使用は存在するが、曜日に依存した偏りはない。モニター 03 は日中の給湯使用そのものが少なく、偏りも見られない例である。

このように、各住宅の入浴スタイルの季節変動の有無と日中の給湯使用状況の曜日依存性の有無に着目して、各住宅の給湯使用状況を表 4.1 に示す 3 つの型に分類した。

表 4.1 入浴パターンの分類

モニター住宅番号	入浴スタイル（シャワー浴又は湯張り浴）の変化
01,03,05,07,10	夜間は季節ごとに湯張り又はシャワー浴を主とした入浴を行い、日中の給湯使用に曜日依存性のない住宅
06,09	夜間は季節ごとに湯張り又はシャワー浴を主とした入浴を行い、日中の給湯使用に曜日依存性のある住宅
02,04,08	年間を通じてシャワー浴を基本とし、数日毎に湯張り入浴を行う住宅

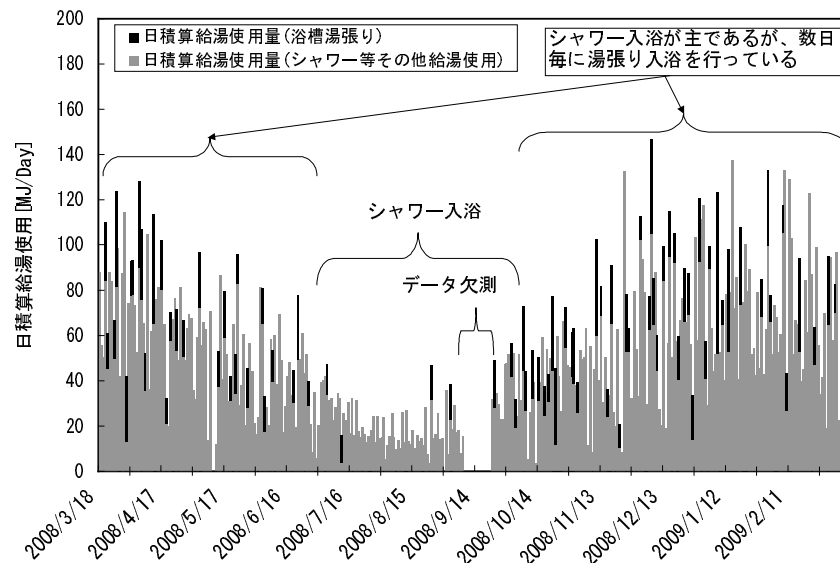


図 4.13 年間を通じてシャワー浴を基本とし、数日毎に湯張り入浴を行う住宅（モニター 08）

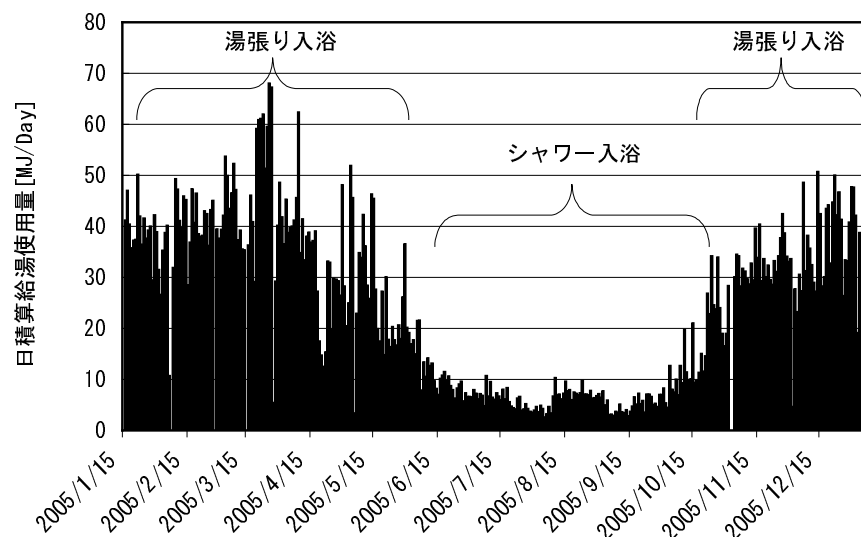


図 4.14 季節ごとに湯張り又はシャワー浴を主とした入浴を行う住宅（モニター 01）

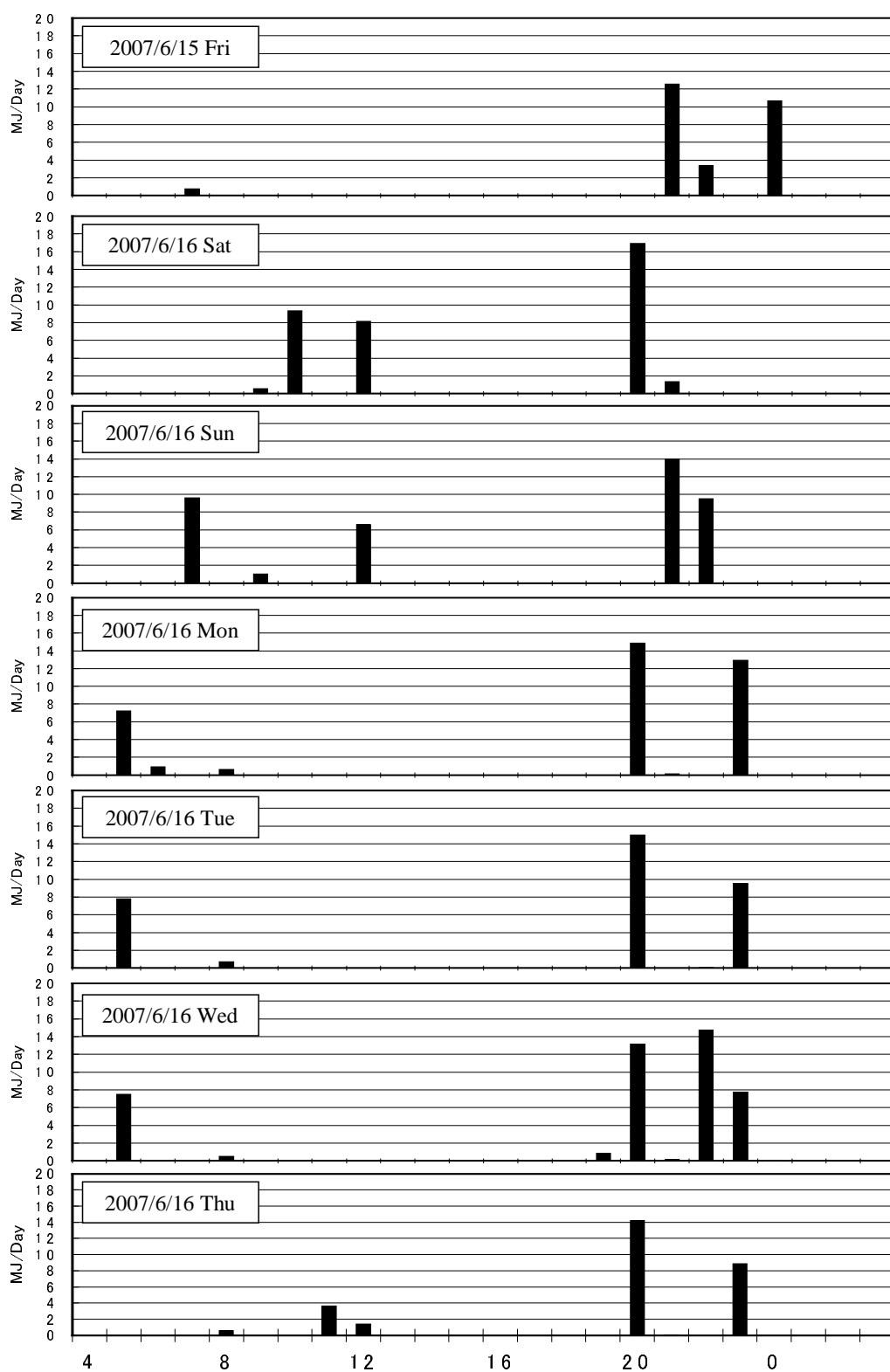


図 4.15 モニター 06 のある 1 週間における給湯使用状況

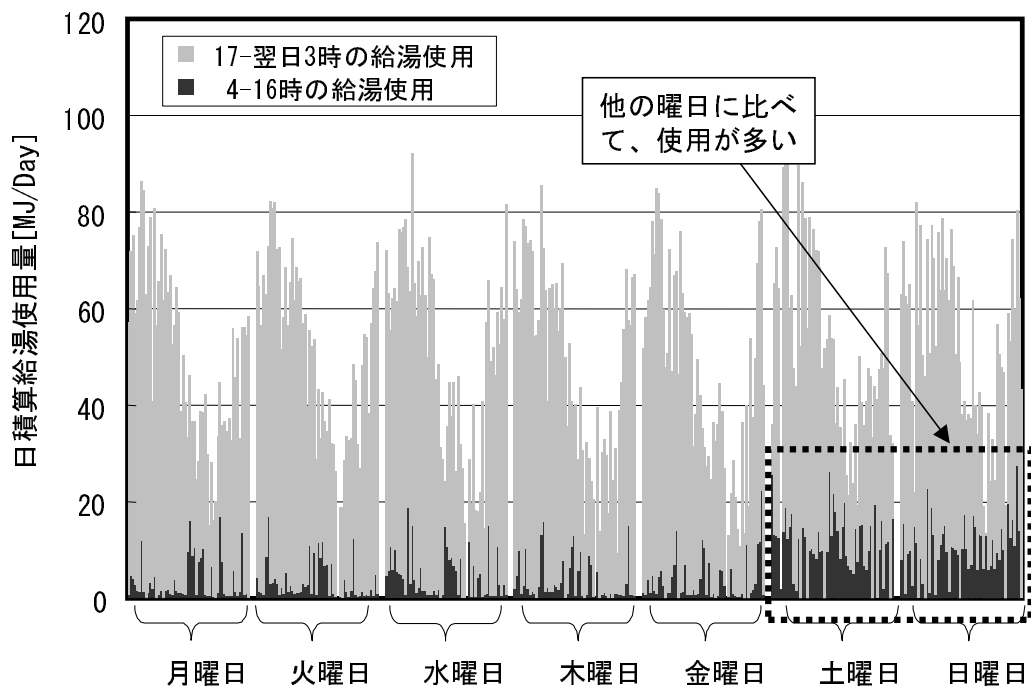


図 4.16 夜間は季節ごとに湯張り又はシャワー浴を主とした入浴を行い、日中の給湯使用に曜日依存性のある住宅（モニター 06）
（2006 年 11 月から 2007 年 12 月までの日積算給湯使用量）

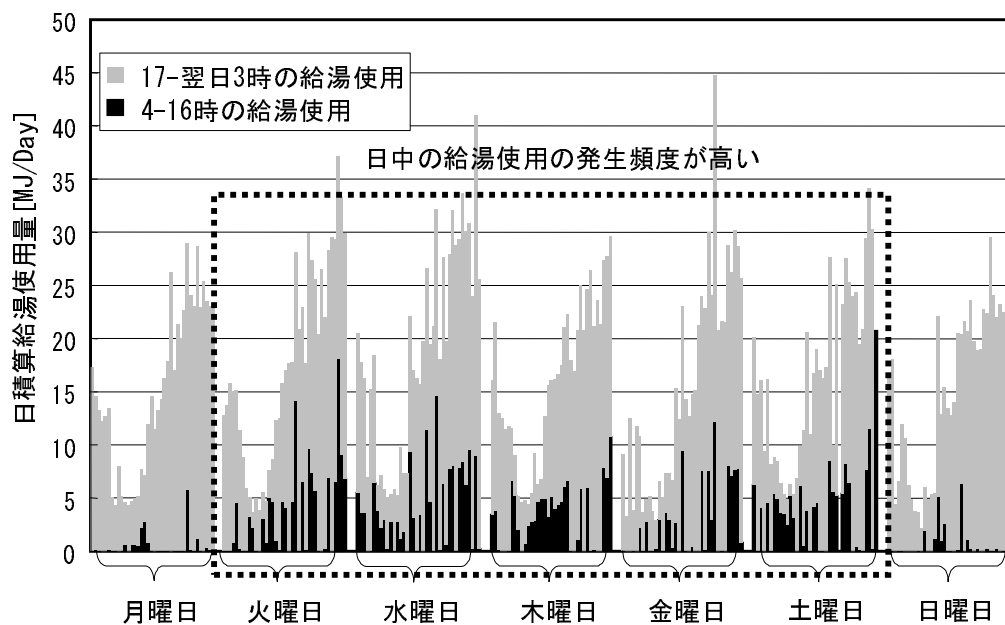


図 4.17 夜間は季節ごとに湯張り又はシャワー浴を主とした入浴を行い、日中の給湯使用に曜日依存性のある住宅（モニター 09）
（2008 年 5 月から 2009 年 3 月までの日積算給湯使用量）

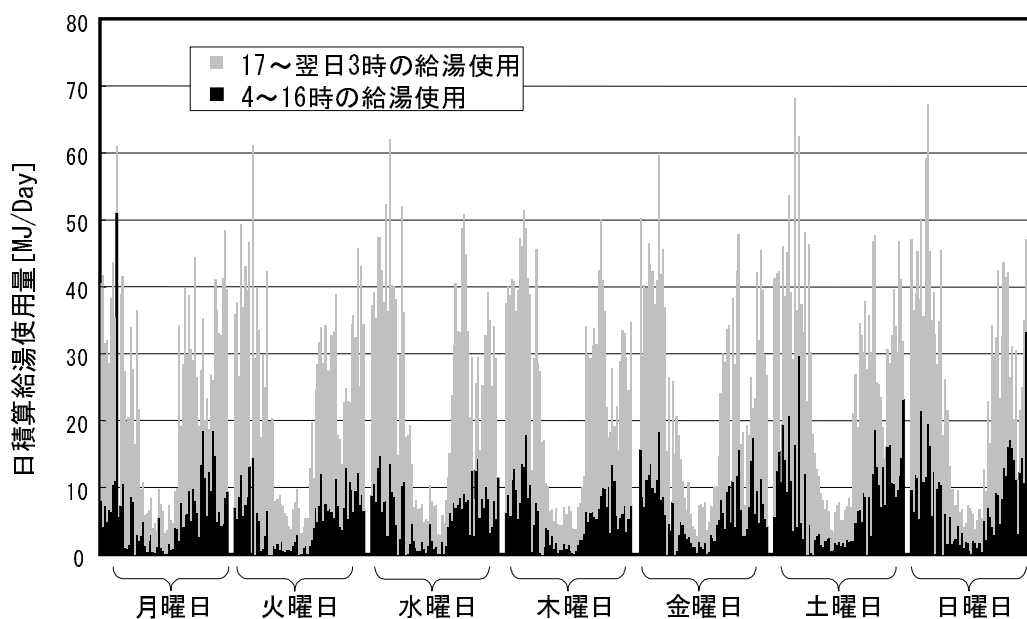


図 4.18 夜間は季節ごとに湯張り又はシャワー浴を主とした入浴を行い、日中の給湯使用に曜日依存性のない住宅（モニター 01）
（2005 年 1 月から 2006 年 1 月までの日積算給湯使用量）

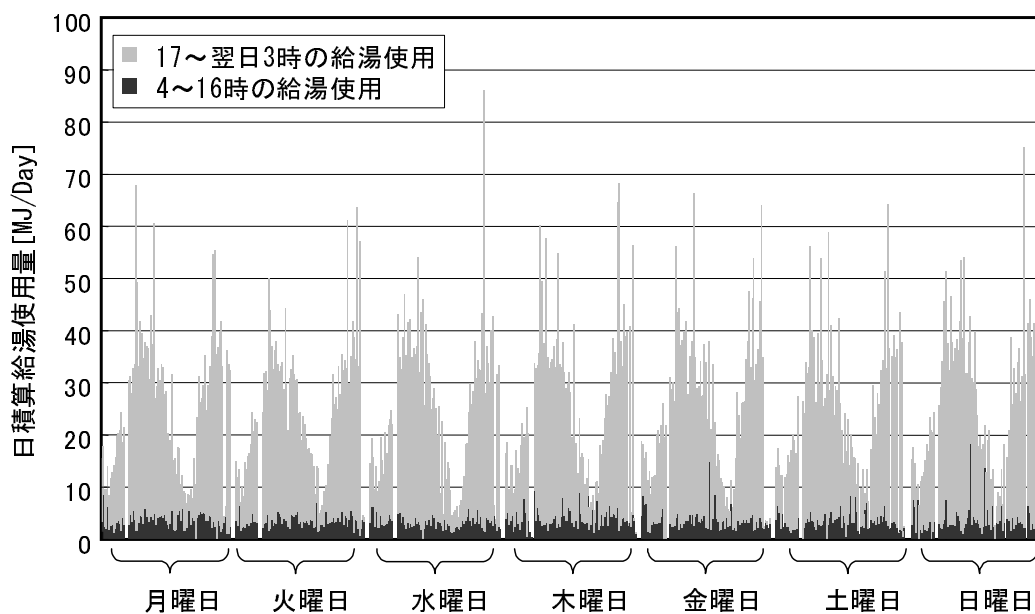


図 4.19 夜間は季節ごとに湯張り又はシャワー浴を主とした入浴を行い、日中の給湯使用に曜日依存性のない住宅（モニター 03）
（2006 年 7 月から 2008 年 3 月までの日積算給湯使用量）

4.4 給湯使用量予測

4.4.1 はじめに

4.3 節において、各住宅の給湯使用状況に基づき入浴パターンを 3 種類に分類した。この分類に従い、各分類毎に日積算給湯使用量を自己回帰モデル (Auto-Regressive Model) 等により予測する式を構築する。

4.4.2 夜間は季節ごとに湯張り又はシャワー浴を主とした入浴を行い、日中の給湯使用に曜日依存性のない住宅

表 4.1 に分類したように、今回の調査対象住宅の半数においては、夜間は季節ごとに湯張り又はシャワー浴を主とした入浴を行い、日中の給湯使用に周期性はない。1 年間以上の観測データがあり、欠測が少ないモニター 03、05 と 07 を対象にして日積算給湯使用量の予測式を作成し、その精度をチェックする。

(1) モニター 05 における給湯使用量の予測

まず、図 4.4 (下) に示したように、モニター 05 の日積算給湯使用量は夏少なく冬多い正弦波状の変化をしている。モニター 05 における日積算給湯使用量の周期性について検討するために、図 4.20 に示すように日積算給湯使用量の自己相関関数を算出した。自己相関値は長期間にわたりゆっくりと変化しており、モニター 05 における日積算給湯使用量には季節変化に伴う緩やかな変動成分 (トレンド) が含まれていることは明らかである。

そこで、2006 年 8 月 4 日から 2007 年 8 月 3 日までの 1 年間の日積算給湯使用量のフーリエ級数を求めた結果を図 4.21 に示す。モニター 05 においては、フーリエ級数の 0 次 (年平均) または 1 次 (年周期) の値が他に較べて大きい。そこで、図 4.22 に示すように、フーリエ級数の 0 次及び 1 次項により、日積算給湯使用量を近似した。

次に、日積算給湯使用量からこのフーリエ級数による近似値を差し引き、季節変動成分 (トレンド) を取り除いた結果を図 4.23 に、その自己相関関数を図 4.24 に示す。図 4.24 に示すように、フーリエ級数により季節変動成分を取り除いた後の日積算給湯使用量は、前日の給湯使用と弱い相関を示している。よって、給湯負荷をフーリエ級数による近似式及び 1 次の自己回帰モデル AR(1) により、式 4.1 のように近似する。

$$Q_{(n)} = FT_{(n)} + \alpha \cdot (Q_{R(n-1)} - FT_{(n-1)}) + \epsilon \quad (4.1)$$

ただし、

$Q_{(n)}$: n 日の日積算給湯使用量 [MJ/Day]

$FT_{(n)}$: n 日における 0、1 次のフーリエ級数による近似値 [MJ/Day]

$\alpha (= 0.22)$: 自己回帰モデル (AR(1)) の係数

ϵ (平均 $\epsilon_m = 0$ [MJ/Day], 分散 $\epsilon_{\sigma^2} = 5.70$ [(MJ/Day)²]): 白色雑音

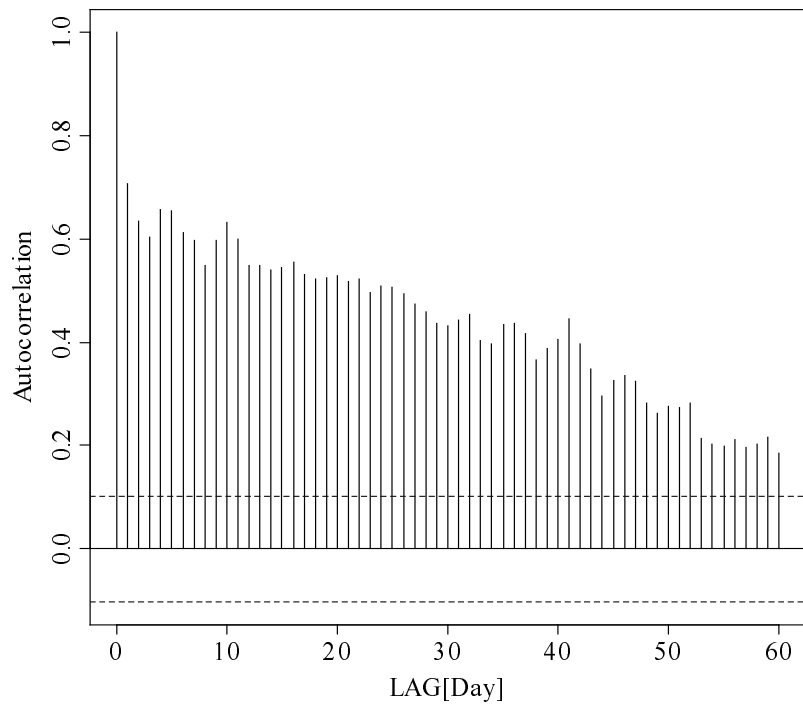


図 4.20 モニター 05 における日積算給湯使用量の自己相関関数

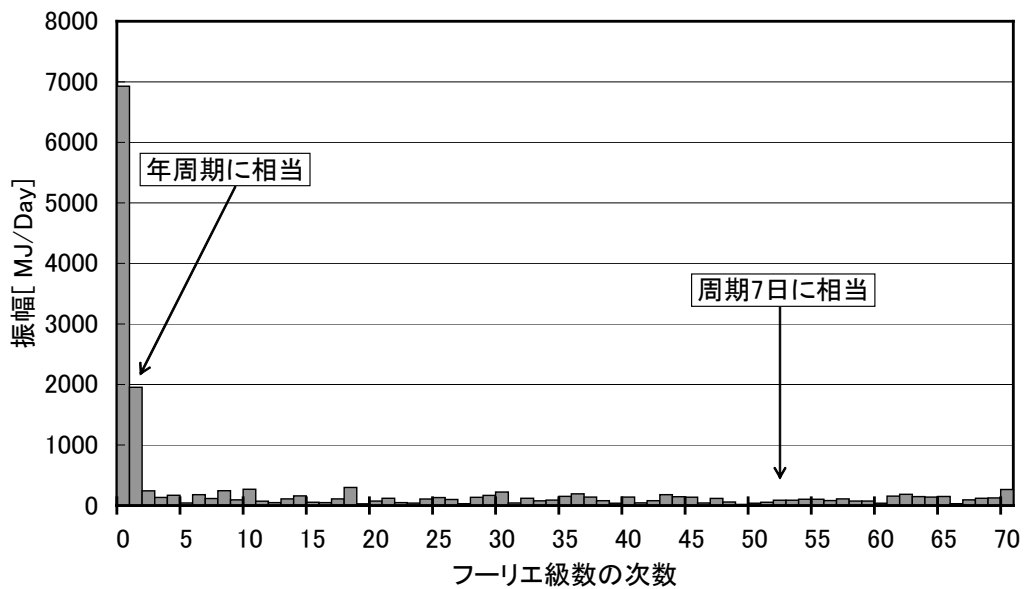


図 4.21 モニター 05 における年間の日積算給湯使用量のフーリエ級数成分振幅

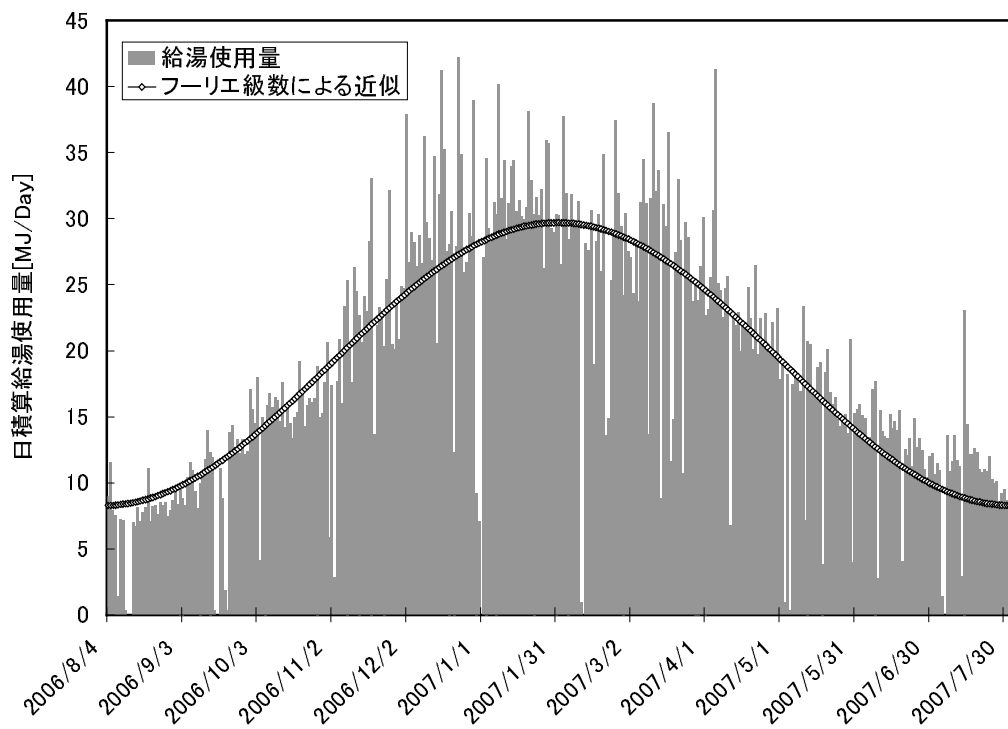


図 4.22 0 次及び 1 次の調波による日積算給湯使用量の近似
(モニター 05)

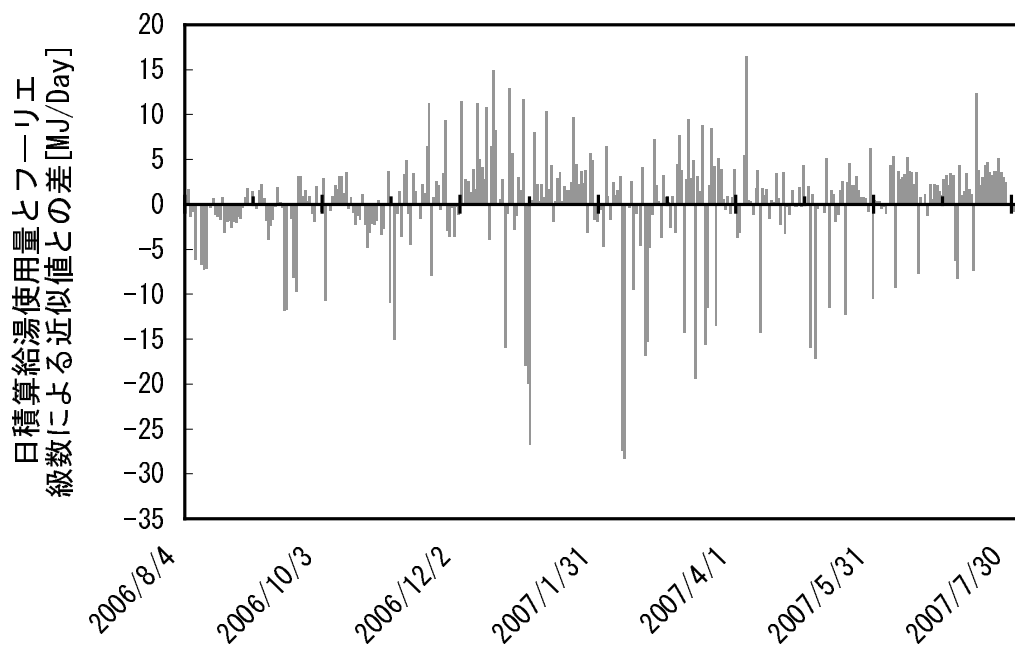


図 4.23 フーリエ級数による季節変動成分を除去した後の日積算給湯使用量 (モニター 05)

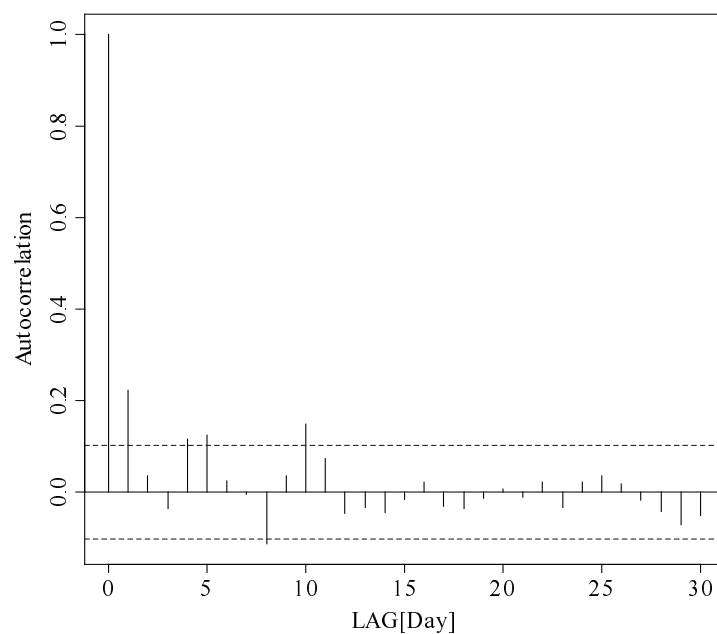


図 4.24 フーリエ級数による季節変動成分を除去した日積算給湯使用量の自己相関関数
(モニター 05)

2006 年 8 月 4 日から 2007 年 8 月 3 日までの日積算給湯使用量を用いてモデルを作成し、2007 年 8 月 4 日以降の日積算給湯使用量の予測を行った結果を図 4.25 に、その予測誤差のヒストグラムを図 4.26 に示す。急激な給湯使用がある日を除き、予測値は比較的良好に測定値を再現している。

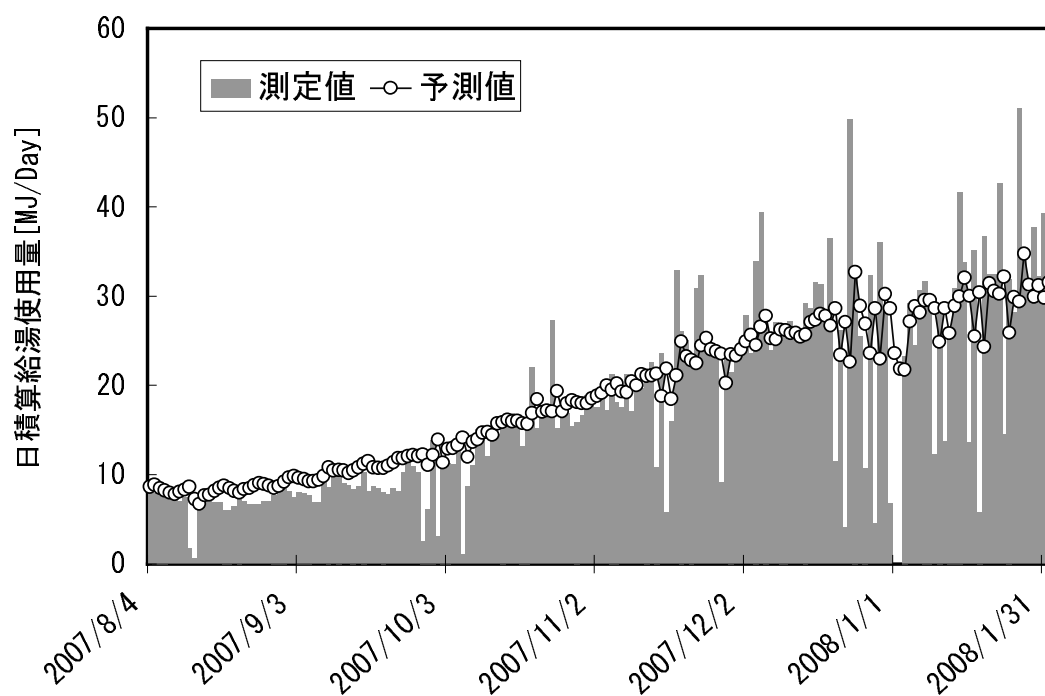


図 4.25 日積算給湯使用量の予測値と測定値の比較（モニター 05）

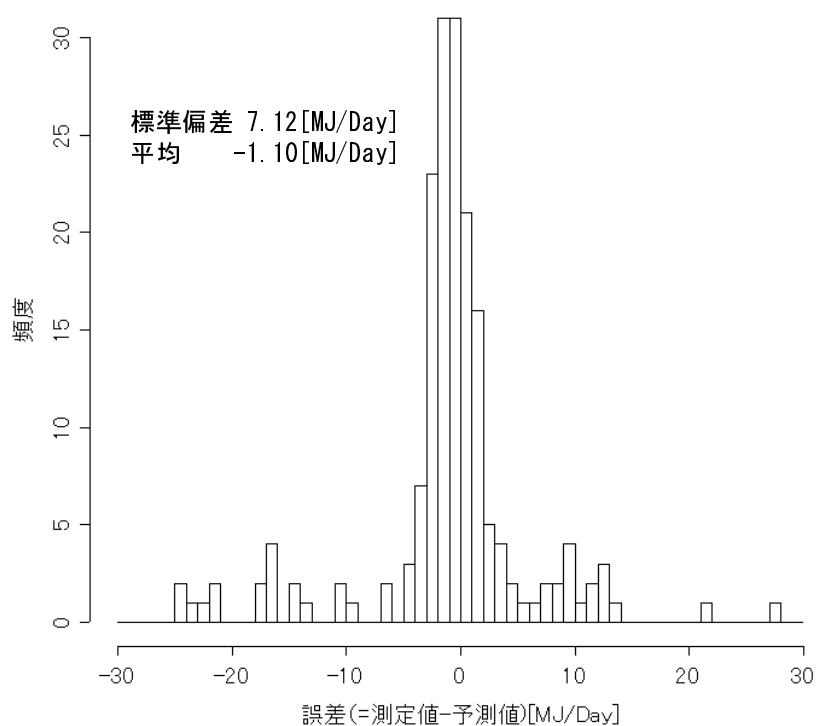


図 4.26 日積算給湯使用量の測定値と予測式の誤差のヒストグラム（モニター 05）

(2) モニター 03 における給湯使用量の予測

図 4.6 (下) に示したように、モニター 03 の日積算給湯使用量も夏少なく冬多い正弦波状の変化をしている。モニター 03 における日積算給湯使用量の周期性について検討するために、日積算給湯使用量の自己相関関数を算出した (図 4.27)。自己相関値は長期間にわたりゆっくりと変化しており、季節変化に伴う緩やかな変動成分 (トレンド) が含まれていると考えられる。

2006 年 7 月 19 日から 2007 年 7 月 18 日までの 1 年間の日積算給湯使用量について、欠測部分を考慮してフーリエ級数を求めた結果を図 4.28 に示す。モニター 03 においても、フーリエ級数の 0 次および 1 次の値が他の調波に較べて大きい。そこで、図 4.29 に示すように 0 次及び 1 次の項からなるフーリエ級数により、日積算給湯使用量を近似した。

次に、日積算給湯使用量からこのフーリエ級数による近似値を差し引きし、季節変動成分を取り除いた結果を図 4.30 に、その自己相関関数を図 4.31 に示す。図 4.31 に示すように、フーリエ級数により季節変動成分を取り除いた後の日積算給湯使用量は、2 週間程度の弱い相関を示している。よって、このモニター 03 における給湯負荷をフーリエ級数による近似式及び 2 次の自己回帰モデル (AR(2)) により、式 4.2 のように近似する。

$$Q_{R(n)} = FT_{(n)} + \alpha \cdot (Q_{R(n-1)} - FT_{(n-1)}) + \beta \cdot (Q_{R(n-2)} - FT_{(n-2)}) + \epsilon \quad (4.2)$$

ただし、

$Q_{(n)}$: n 日の日積算給湯使用量 [MJ/Day]

$FT_{(n)}$: n 日における 0、1 次のフーリエ級数による近似値 [MJ/Day]

$\alpha (= 0.41)$, $\beta (= 0.27)$: 自己回帰モデル (AR(2)) の係数

ϵ (平均 $\epsilon_m = 0$ [MJ/Day], 分散 $\epsilon_{\sigma^2} = 7.11$ [(MJ/Day)²]): 白色雑音

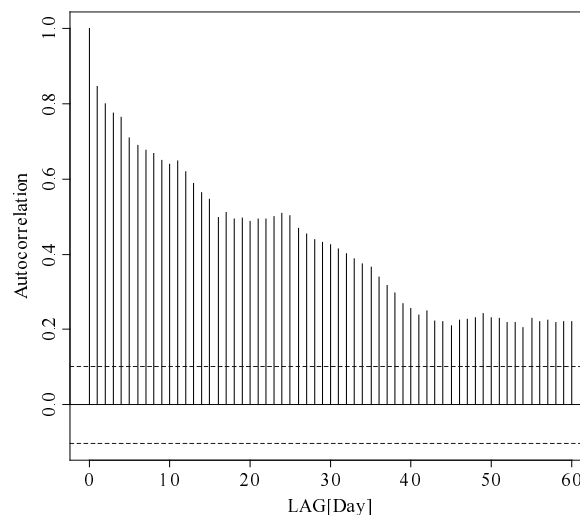


図 4.27 モニター 03 における日積算給湯使用量の自己相関関数

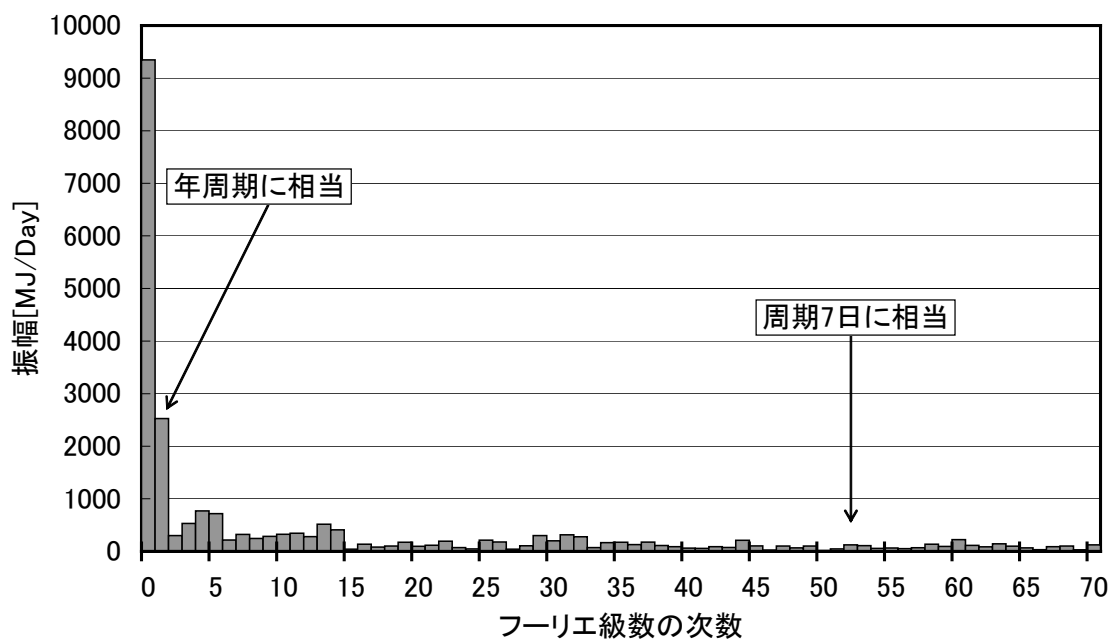


図 4.28 モニター 03 における年間の日積算給湯使用量のフーリエ級数成分振幅

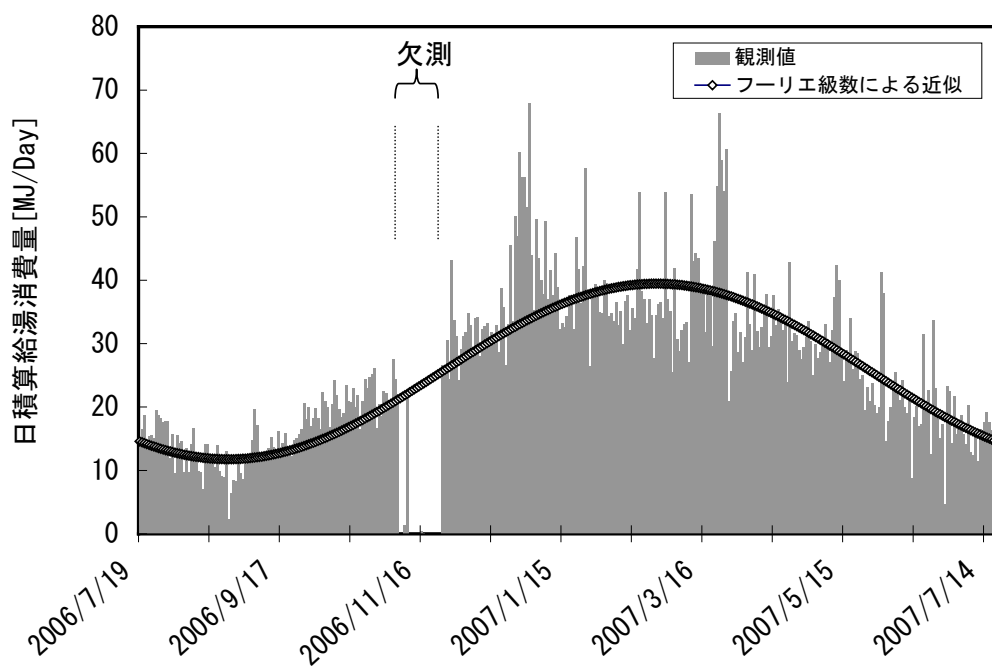


図 4.29 0 次及び 1 次の調波による日積算給湯使用量の近似
(モニター 03)

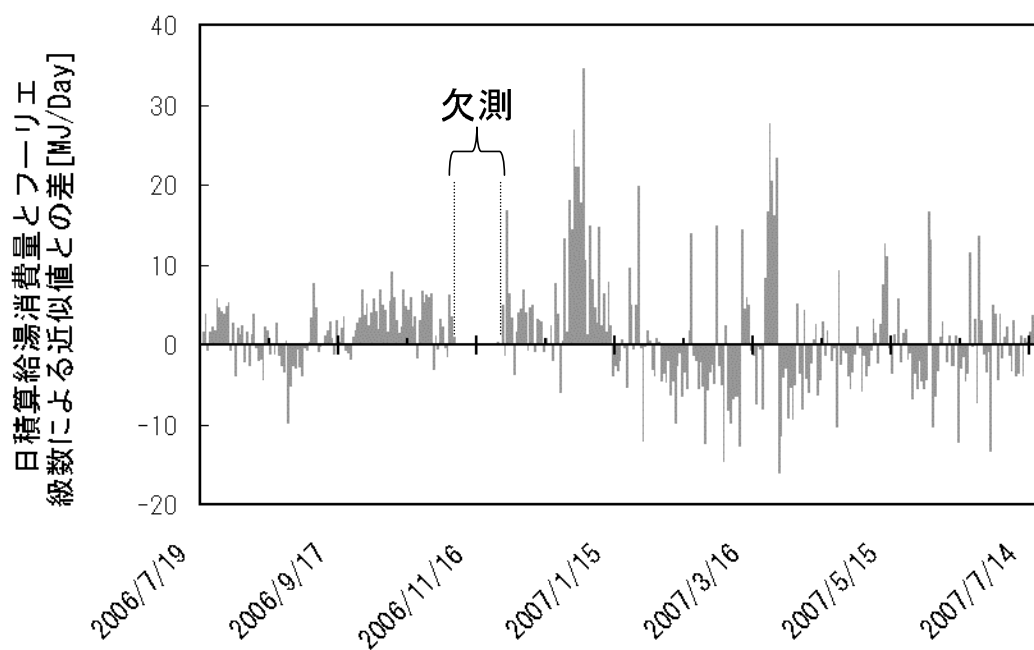


図 4.30 フーリエ級数による季節変動成分を除去した後の日積算給湯使用量（モニター 03）

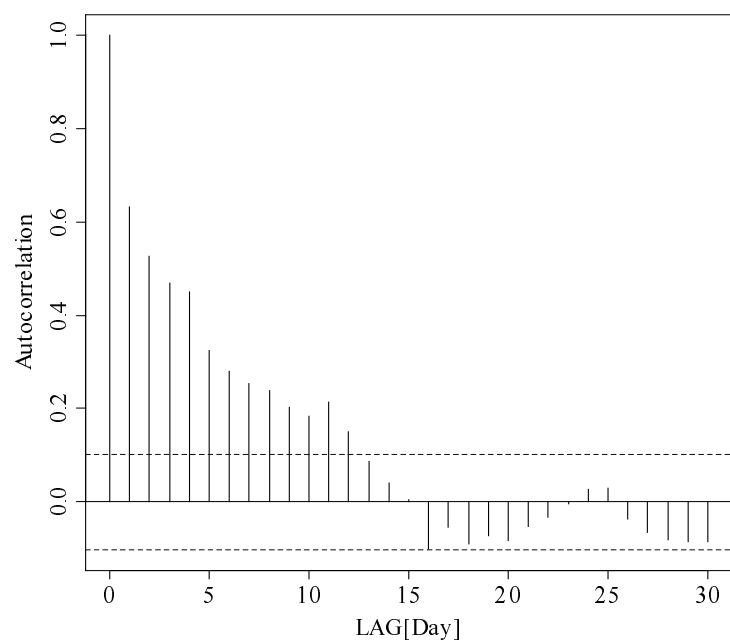


図 4.31 フーリエ級数による季節変動成分を除去した日積算給湯使用量の自己相関関数（モニター 03）

2006 年 7 月 19 日から 2007 年 7 月 18 日までの日積算給湯使用量に基づき作成したモデルを用いて、2007 年 7 月 20 日以降の日積算給湯使用量の予測を行った結果を図 4.32 に、その予測誤差のヒストグラムを図 4.33 に示す。急激な給湯使用がある日を除き、予測値は比較的良好に測定値を再現している。

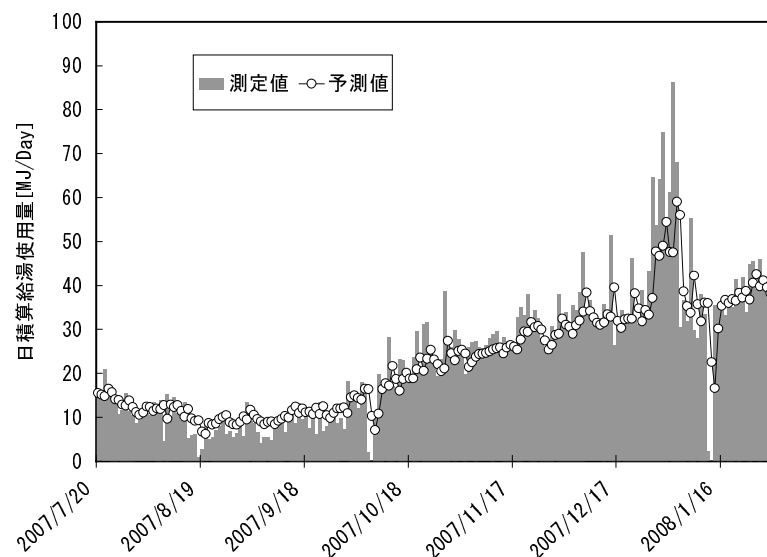


図 4.32 日積算給湯使用量の予測値と測定値の比較（モニター 03）

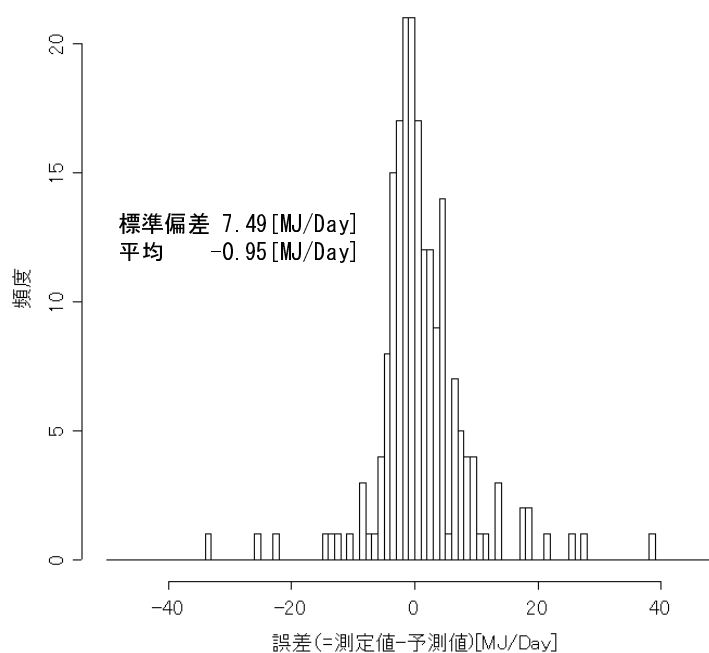


図 4.33 日積算給湯使用量の測定値と予測式の誤差のヒストグラム（モニター 03）

(3) モニター 07 における給湯使用量の予測

図 4.9 (下) に示したように、モニター 07 の日積算給湯使用量も、夏少なく冬多い正弦波状の変化をしている。モニター 07 における日積算給湯使用量の周期性について検討するために、日積算給湯使用量の自己相関関数を算出した (図 4.34)。自己相関値は長期間にわたりゆっくりと変化しており、モニター 07 における日積算給湯使用量には季節変化に伴う緩やかな変動成分 (トレンド) が含まれていることが明らかである。

そこで、2006 年 10 月 16 日から 2007 年 10 月 15 日までの 1 年間の日積算給湯使用量について、欠測部分を考慮してフーリエ級数を求めた結果を図 4.35 に示す。モニター 07 も、フーリエ級数の 0 次または 1 次の値が他に較べて大きい。そこで、図 4.36 に示すように、0 次及び 1 次の項のフーリエ級数により、モニター 07 における日積算給湯使用量を近似した。

次に、日積算給湯使用量からこのフーリエ級数による近似値を差し引き、季節変動成分を取り除いた結果を図 4.37 に、その自己相関関数を図 4.38 に示す。フーリエ級数により季節変動成分を取り除いた後の日積算給湯使用量は、2 週間程度の間、給湯使用と弱い相関を示している (図 4.38)。よって、このモニター 07 における給湯負荷をフーリエ級数による近似式及び 2 次の自己回帰モデル (AR(2)) により、式 4.3 のように近似する。

$$Q_{(n)} = FT_{(n)} + \alpha \cdot (Q_{(n-1)} - FT_{(n-1)}) + \beta \cdot (Q_{(n-2)} - FT_{(n-2)}) + \epsilon \quad (4.3)$$

ただし、

$Q_{(n)}$: n 日の日積算給湯使用量 [MJ/Day]

$FT_{(n)}$: n 日における 0、1 次のフーリエ級数による近似値 [MJ/Day]

$\alpha (= 0.46)$, $\beta (= 0.10)$: 自己回帰モデル (AR(2)) の係数

ϵ (平均 $\epsilon_m = 0$ [MJ/Day], 分散 $\epsilon_{\sigma^2} = 10.67[(MJ/Day)^2]$): 白色雑音

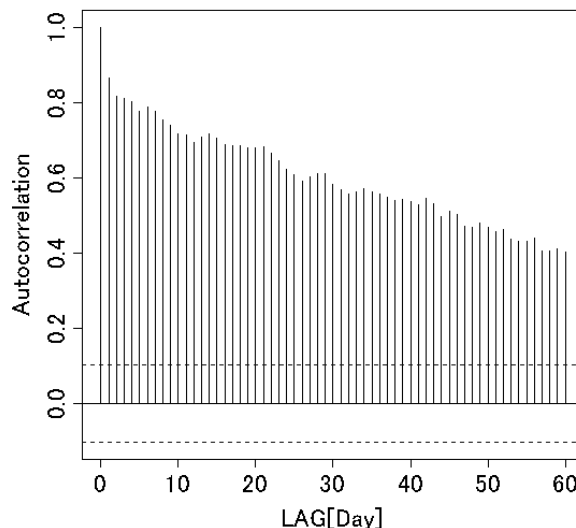


図 4.34 モニター 07 における日積算給湯使用量の自己相関関数

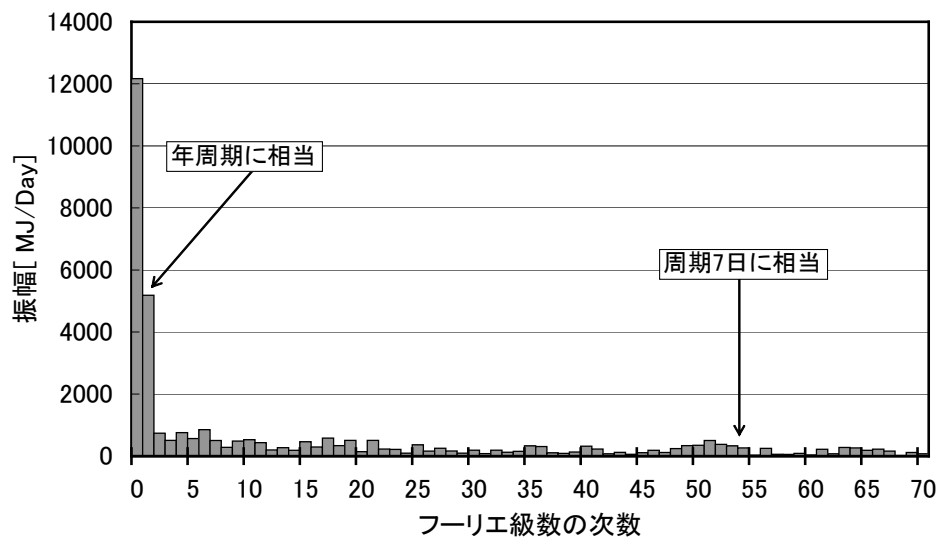


図 4.35 モニター 07 における年間の日積算給湯使用量のフーリエ級数成分振幅

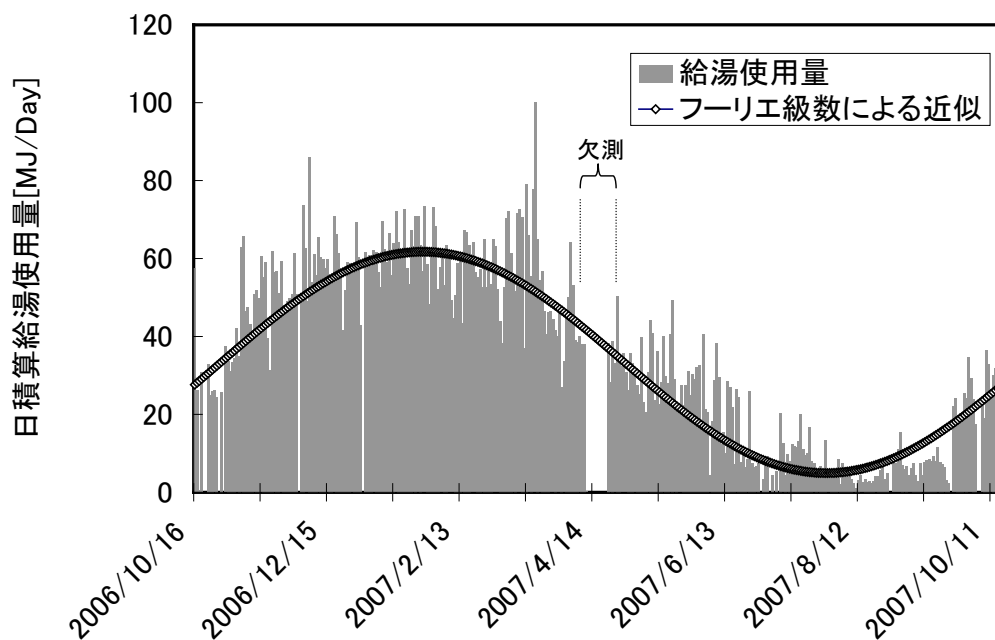


図 4.36 0 次及び 1 次の調波による日積算給湯使用量の近似
(モニター 07)

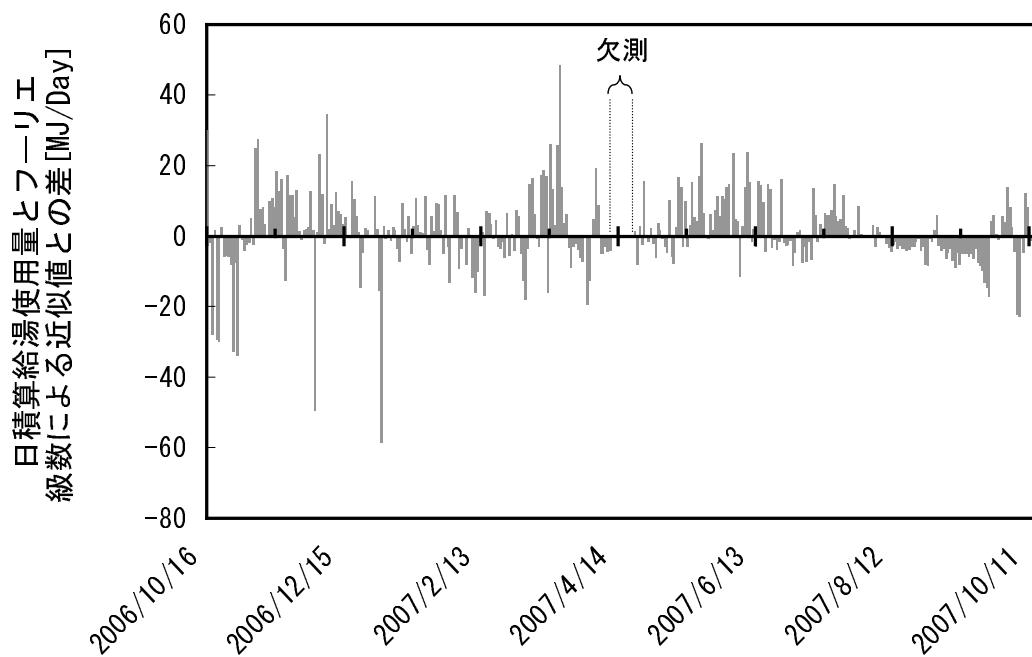


図 4.37 フーリエ級数による季節変動成分を除去した後の日積算給湯使用量（モニター 07）

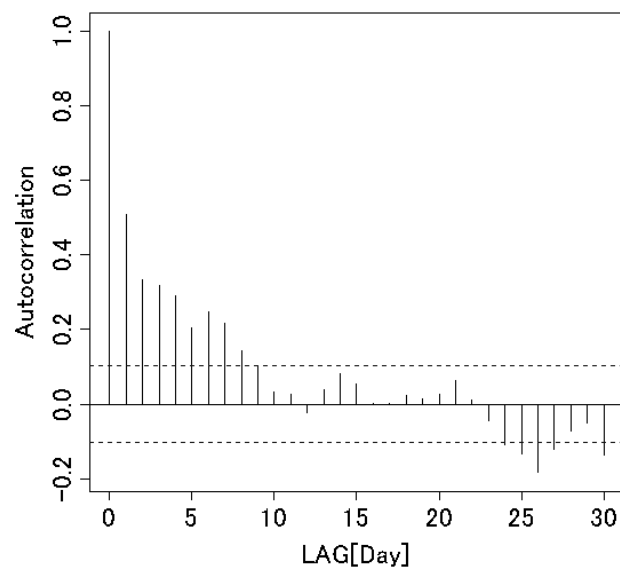


図 4.38 フーリエ級数による季節変動成分を除去した日積算給湯使用量の自己相関関数（モニター 07）

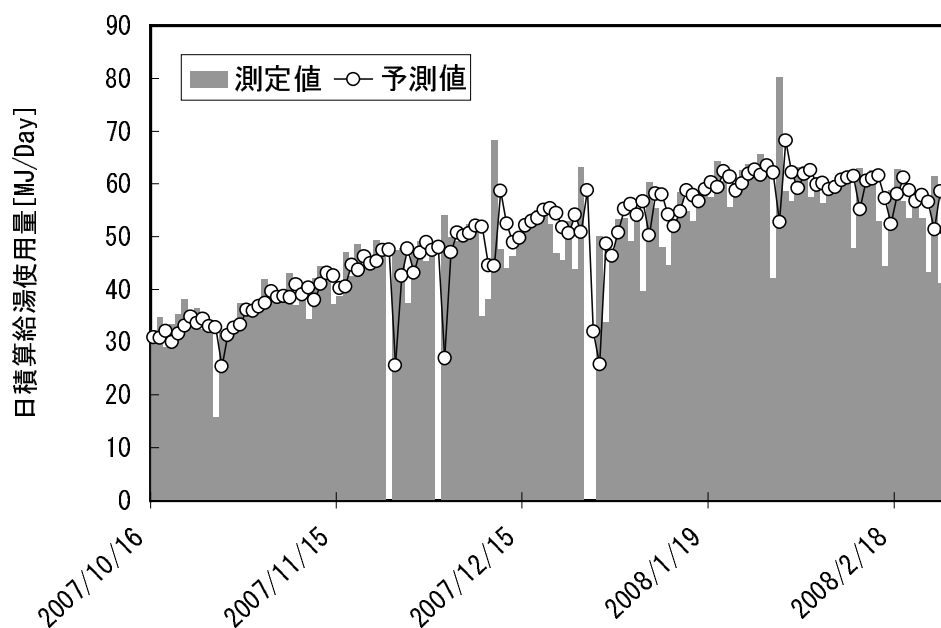


図 4.39 日積算給湯使用量の予測値と測定値の比較（モニター 07）

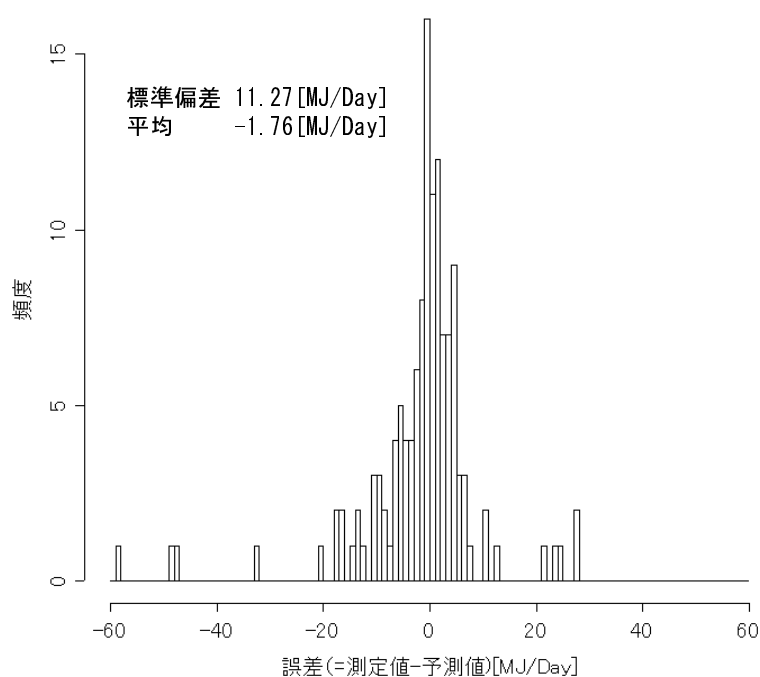


図 4.40 日積算給湯使用量の測定値と予測式の誤差のヒストグラム（モニター 07）

2006 年 10 月 16 日から 2007 年 10 月 15 日までの日積算給湯使用量に基づいて作成したモデルを用いて、2007 年 10 月 16 日以降の日積算給湯使用量の予測を行った結果を図 4.39 に、その予測誤差のヒストグラムを図 4.40 に示す。急激な給湯使用がある日を除き、予測値は測定値を比較的良好に再現している。

4.4.3 夜間は季節ごとに湯張り又はシャワー浴を主とした入浴を行い、日中の給湯使用に曜日依存性のある住宅

モニター 06 および 09 では、日中の給湯使用に曜日依存性がある。モニター 06 は 1 年以上測定を行ったが、測定途中で転居しているので、同一の住戸で測定期間が 1 年以上あるモニター 09 を対象に給湯負荷モデルを構築する。

(1) 日中の給湯使用量予測式

図 4.41 の日中（午前 4 時から午後 4 時まで）の日積算給湯使用量（以下 “日中の給湯使用量” という。）には図 4.42 の自己相関に示されるように、弱い 7 日間の周期性がある。そこで、図 4.41 の使用量を曜日別に並べ替えると、日曜日及び月曜日における給湯使用量が少ないことが分かる（図 4.43）。

2008 年 5 月 26 日から 2009 年 5 月 25 日までの 1 年間の日積算給湯使用量 $Q_{(n)}$ について、欠測部分及び給湯不使用日を考慮してフーリエ級数を求めた結果を図 4.44 に示す。0 次（年平均）・1 次（1 年周期）及び 52 次（1 週間周期）を示す成分にそれぞれピークを有している。そこで、積算給湯使用量 $Q_{(n)}$ （図 4.41）を、0 次及び 1 次の項のフーリエ級数 $FT_{(n)}$ により近似した（図 4.45）。

日中の給湯使用は、日積算給湯使用量の測定値が “0” であっても、必ずしもそれは欠測ではないので、この日中の日積算給湯使用量に含まれるトレンドを除くために、測定値 $Q_{(n)}$ を 0 次及び 1 次の調波からなる近似式 $FT_{(n)}$ で除した値（ $= Q'_{(n)}$ ）（式 4.4）を図 4.46 に示す。

$$Q'_{(n)} = Q_{(n)} / FT_{(n)} \quad (4.4)$$

この操作により、日中の日積算給湯使用に含まれる年周期のトレンドは取り除かれ、年間を通して測定値は分散している。また、 $Q'_{(n)}$ （図 4.46）の自己相関関数は図 4.47 に示すように、弱い 1 週間単位の周期性が見られる。 $Q'_{(n)}$ の曜日別日積算給湯使用量の年平均・季節別平均を図 4.48 に示す。 $Q'_{(n)}$ の曜日別の平均は、季節ごとの多少の変動はあるが、傾向は似ているといえる。よって、年間の平均曜日別平均をもとに 1 週間周期関数 $W_{(n)}$ を定めた。

次に、この $Q'_{(n)}$ から 1 週間周期を除くために $Q'_{(n)}$ を曜日別平均 $W_{(n)}$ （図 4.48）で除した値 $Q''_{(n)}$ （式 4.5）を図 4.49 に、その自己相関関数を図 4.50 に示す。

$$Q''_{(n)} = Q'_{(n)} / W_{(n)} \quad (4.5)$$

$Q''_{(n)}$ の自己相関は、白色雑音 ϵ のそれに近い。よって、 $Q''_{(n)}$ は式 4.6 のように表せる。

$$Q''_{(n)} = \epsilon (= Q'_{(n)} / W_{(n)}) \quad (4.6)$$

以上のことを踏まえて、モニター 09 の日積算給湯使用量を式 (4.7、4.8) により近似する。

$$Q'_{(n)} = W_{(n)} * \epsilon \quad (4.7)$$

$$Q_{(n)} = FT_{(n)} * Q'_{(n)} = FT_{(n)} * W_{(n)} * \epsilon \quad (4.8)$$

ただし、

$Q_{(n)}$: n 日の日積算給湯使用量 [MJ/Day]

$FT_{(n)}$: n 日における 0、1 次のフーリエ級数による近似値 [MJ/Day]

$Q'_{(n)}$: n 日における日積算給湯使用量 $Q_{(n)}$ をフーリエ級数による近似値 $FT_{(n)}$ で除した時系列

$W_{(n)}$: n 1 週間周期関数 (年平均に基づく)

ϵ (平均 $\epsilon_m = 0$ [MJ/Day], 分散 $\epsilon_{\sigma^2} = 7.39$ [(MJ/Day)²]): 白色雑音

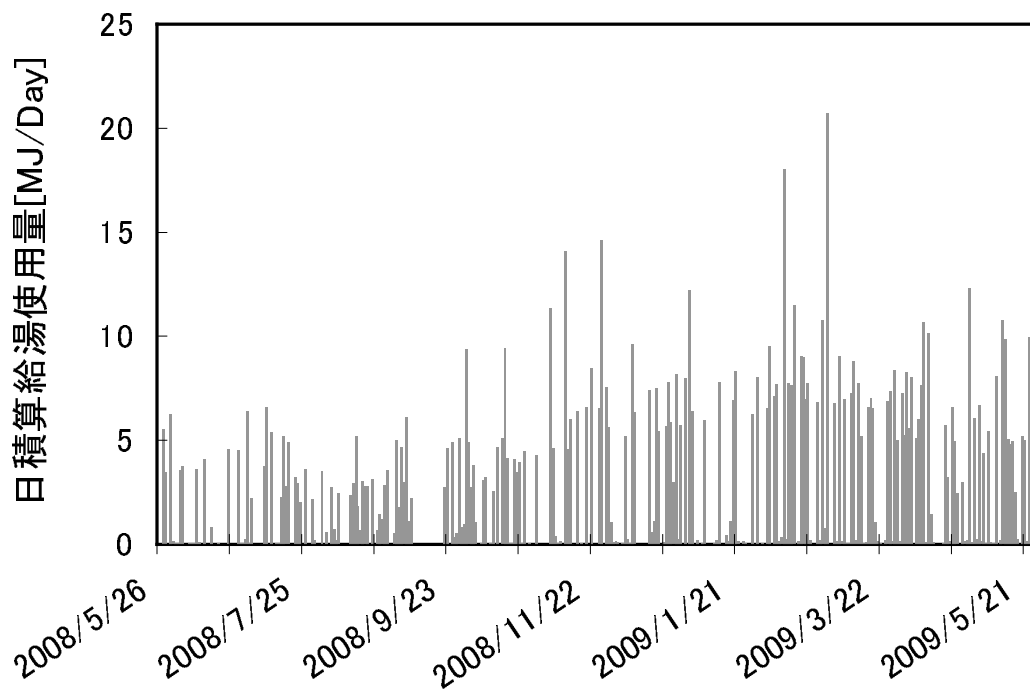


図 4.41 日中の日積算給湯使用量 (モニター 09)

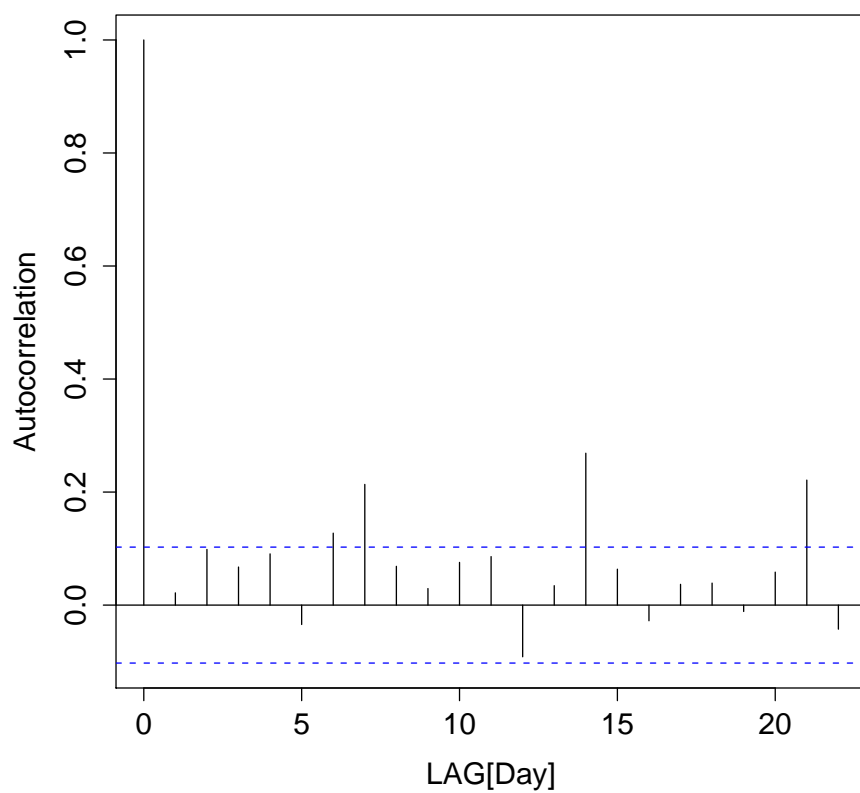


図 4.42 日中の日積算給湯使用量の自己相関（モニター 09）

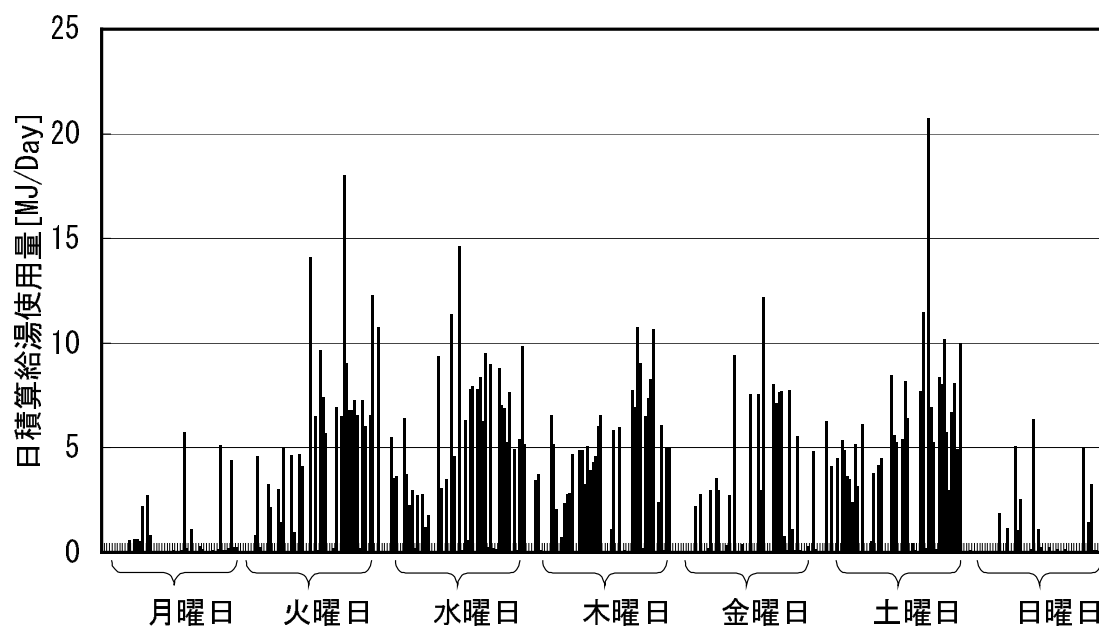


図 4.43 日中の日積算給湯使用量の曜日依存性（モニター 09）

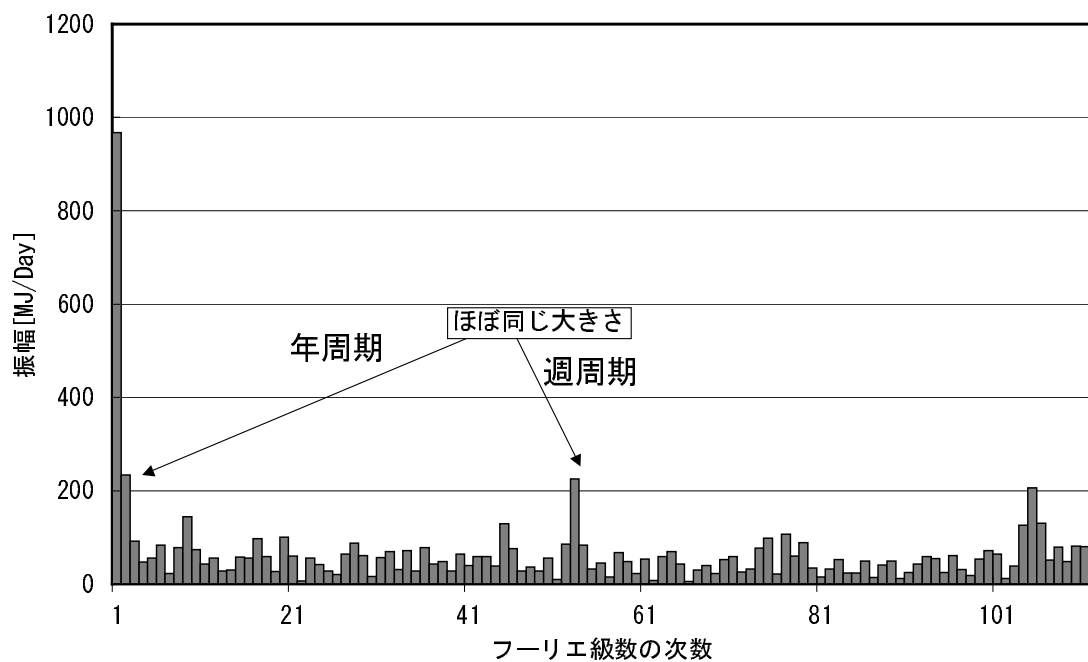


図 4.44 モニター 09 における日中の日積算給湯使用量のフーリエ級数成分振幅

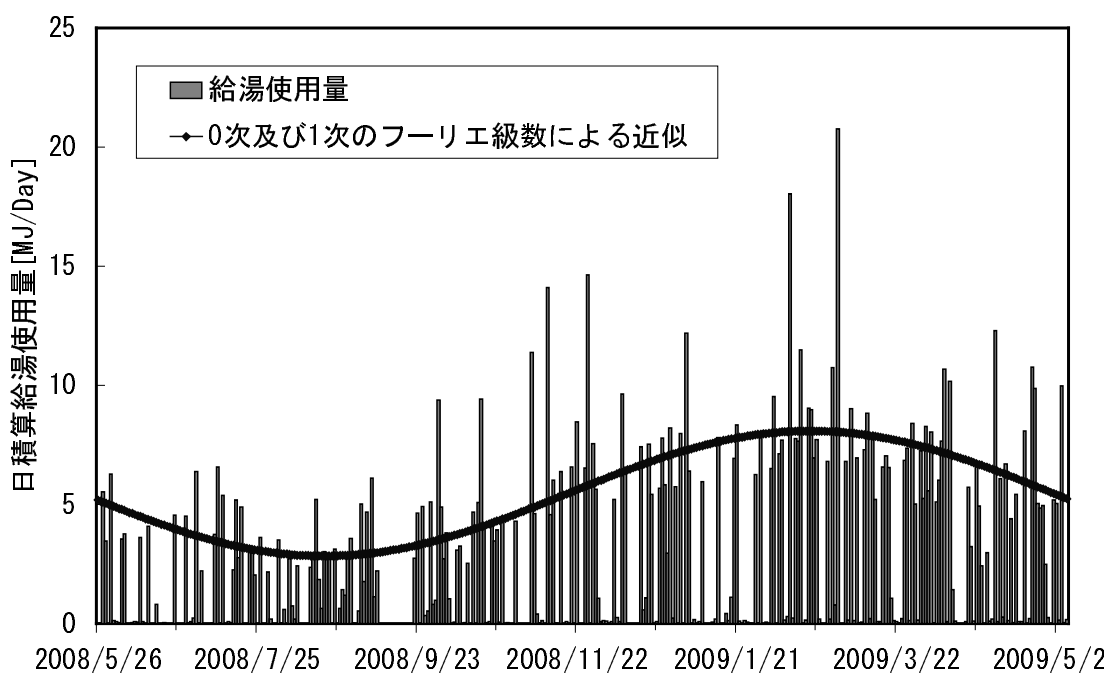


図 4.45 0 次及び 1 次の調波による日積算給湯使用量の近似 (モニター 09)

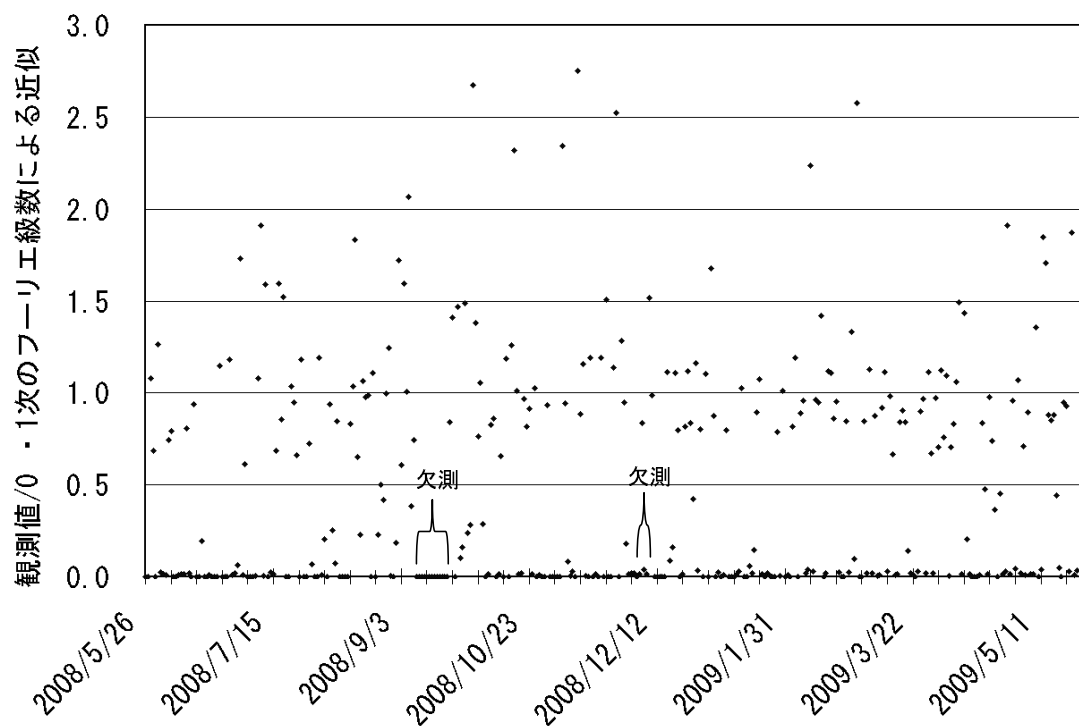


図 4.46 日積算給湯使用量をフーリエ級数により除して季節変動成分を除去 (モニター 09)

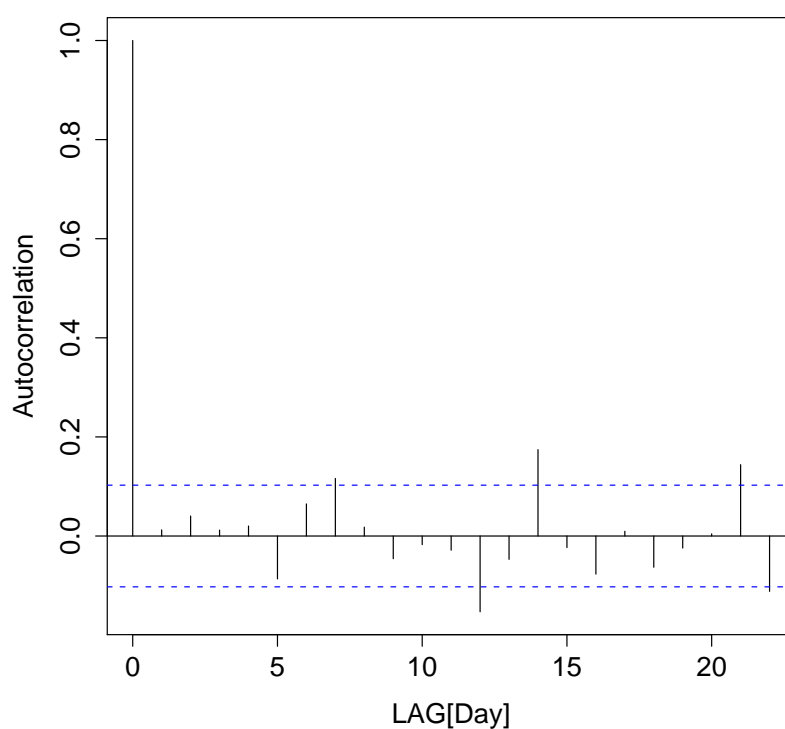


図 4.47 日積算給湯使用量/フーリエ級数 (図 4.46) の自己相関 (モニター 09)

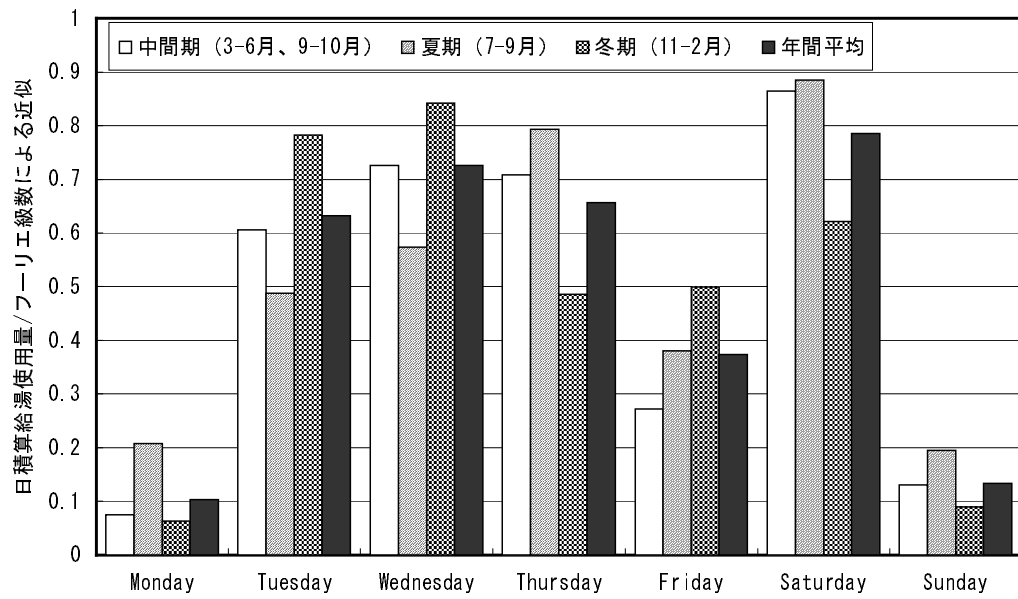


図 4.48 日積算給湯使用量/フーリエ級数の曜日別季節別平均（モニター 09）

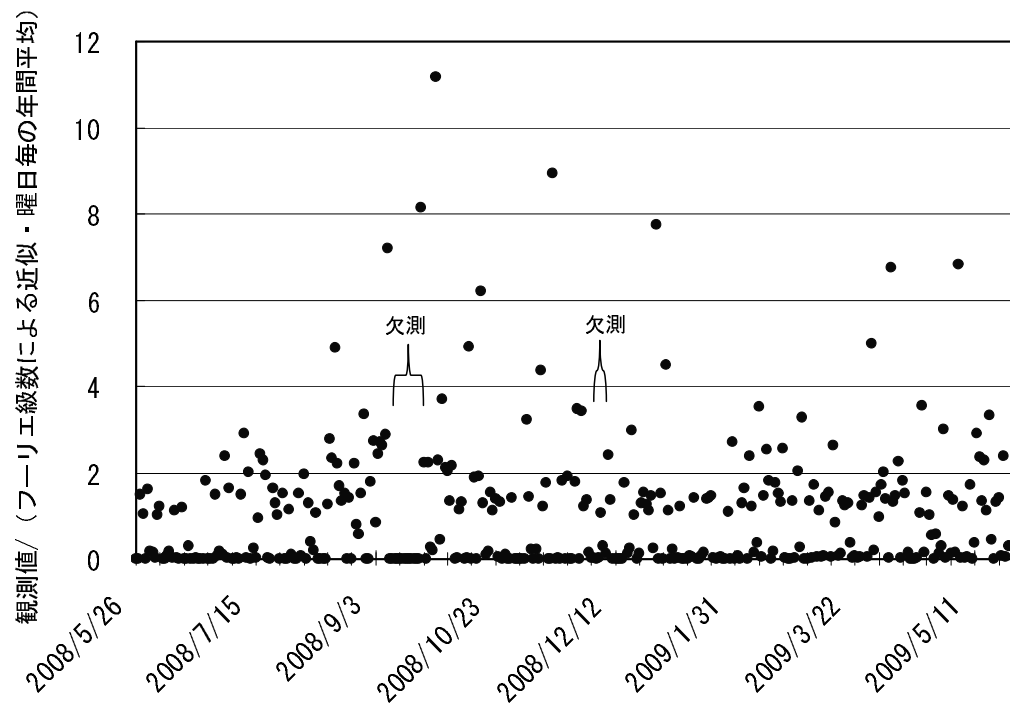


図 4.49 日積算給湯使用量 / (フーリエ級数による近似・曜日別年平均値) (モニター 09)

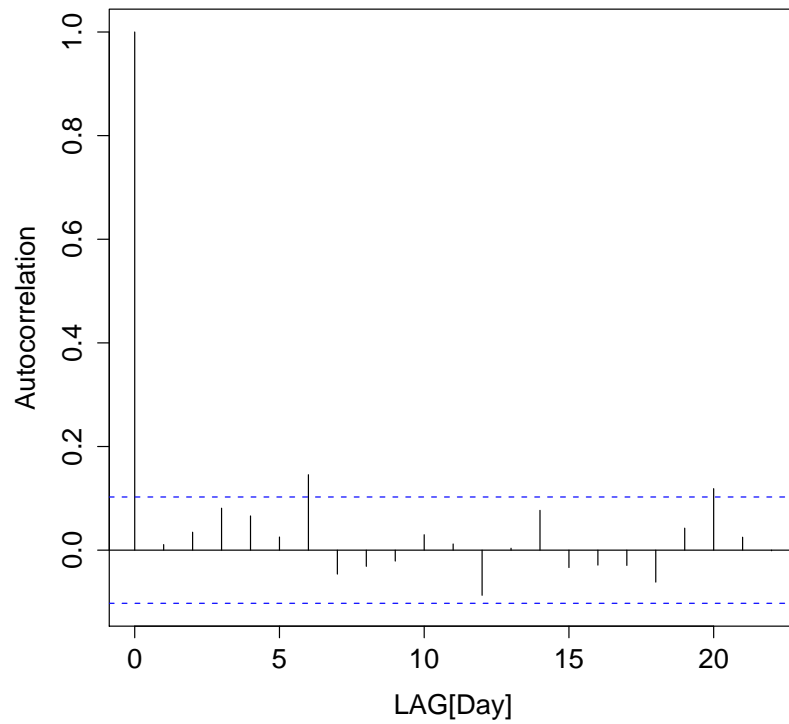


図 4.50 日積算給湯使用量/(フーリエ級数による近似・曜日別年平均値)(図 4.49)の自己相関(モニター 09)

2008年5月26日から2009年5月25日までの日積算給湯使用量に基づいて作成したモデルを用いて、2010年5月26日以降の日積算給湯使用量の予測値と測定値の比較を図4.51に、その予測誤差のヒストグラムを図4.52に示す。急激な給湯使用がある日を除き、予測値は測定値を比較的良好に再現している。

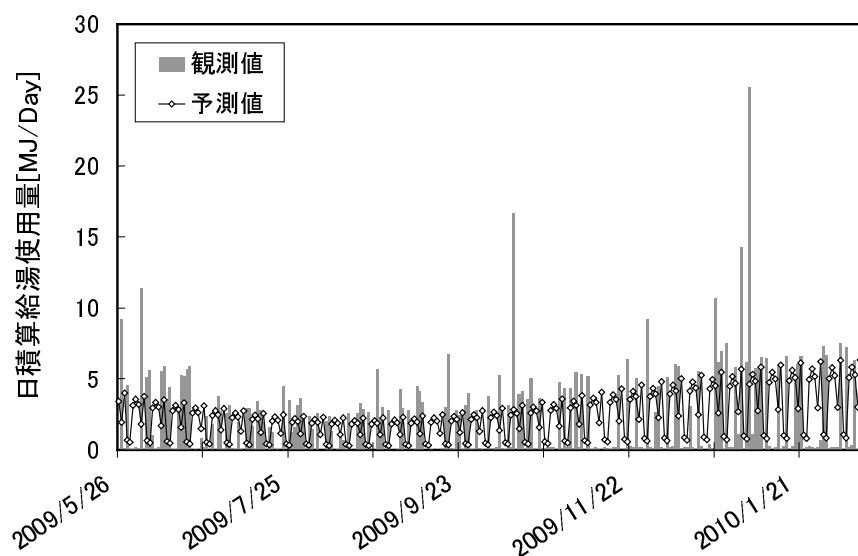


図 4.51 日中の日積算給湯使用量の予測値と測定値の比較（モニター 09）

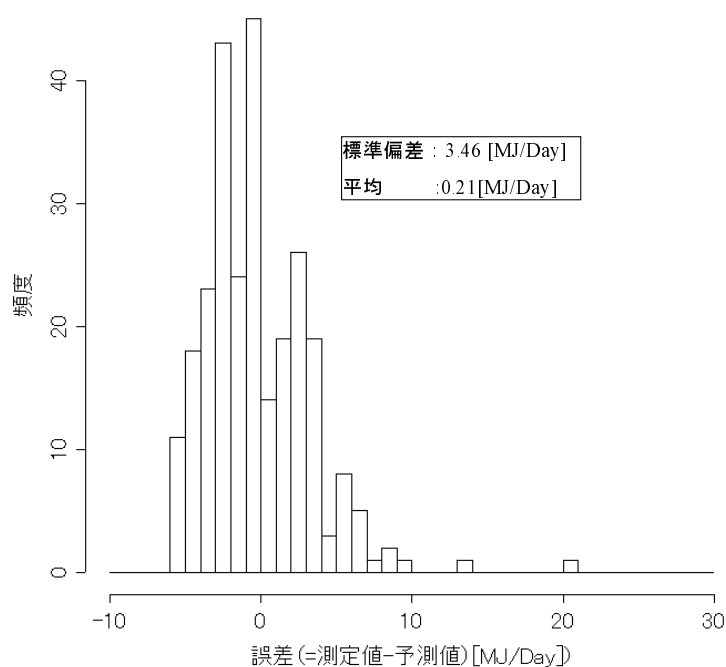


図 4.52 日中の積算給湯使用量予測誤差のヒストグラム（モニター 09）

(2) 夜間の給湯使用量予測式

夜間の給湯使用量の予測モデルを作成する。まず、モニター 09 における夜間の日積算給湯使用量の周期性について検討するために、自己相関関数を算出した（図 4.53）。自己相関値は長期間にわたりゆっくりと変化しており、モニター 06 における夜間の日積算給湯使用量には季節変化に伴う緩やかな変動成分（トレンド）が含まれていることが明らかである。

そこで、2008 年 5 月 26 日から 2009 年 5 月 25 日までの 1 年間の日積算給湯使用量について、欠測部分を考慮してフーリエ級数を求めた結果を図 4.54 に示す。モニター 09 も、フーリエ級数の 0 次または 1 次の値が他に較べて大きい。そこで、図 4.55 に示すように 0 次及び 1 次の項のフーリエ級数により、モニター 09 における日積算給湯使用量を近似した。

次に、日積算給湯使用量からこのフーリエ級数による近似値を差し引き、季節変動成分を取り除いた結果を図 4.56 に、その自己相関関数を図 4.57 に示す。フーリエ級数により季節変動成分を取り除いた後の日積算給湯使用量は、数日間の給湯使用と弱い相関を示している（図 4.57）。よって、このモニター 09 における給湯負荷をフーリエ級数による近似式及び 2 次の自己回帰モデル (AR(2)) により、式 4.9 のように近似する。

$$Q_{(n)} = FT_{(n)} + \alpha \cdot (Q_{(n-1)} - FT_{(n-1)}) + \beta \cdot (Q_{(n-2)} - FT_{(n-2)}) + \epsilon \quad (4.9)$$

ただし、

$Q_{(n)}$: n 日の夜間の日積算給湯使用量 [MJ/Day]

$FT_{(n)}$: n 日における 0、1 次のフーリエ級数による近似値 [MJ/Day]

$\alpha (= 0.312)$, $\beta (= 0.252)$: 自己回帰モデル (AR(2)) の係数

ϵ (平均 $\epsilon_m = 0$ [MJ/Day], 分散 $\epsilon_{\sigma^2} = 13.85$ [(MJ/Day)²]): 白色雑音

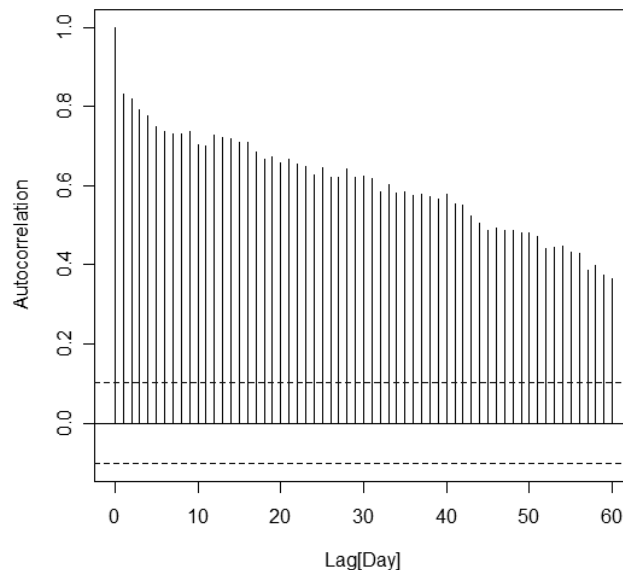


図 4.53 夜間の日積算給湯使用量の自己相関（モニター 09）

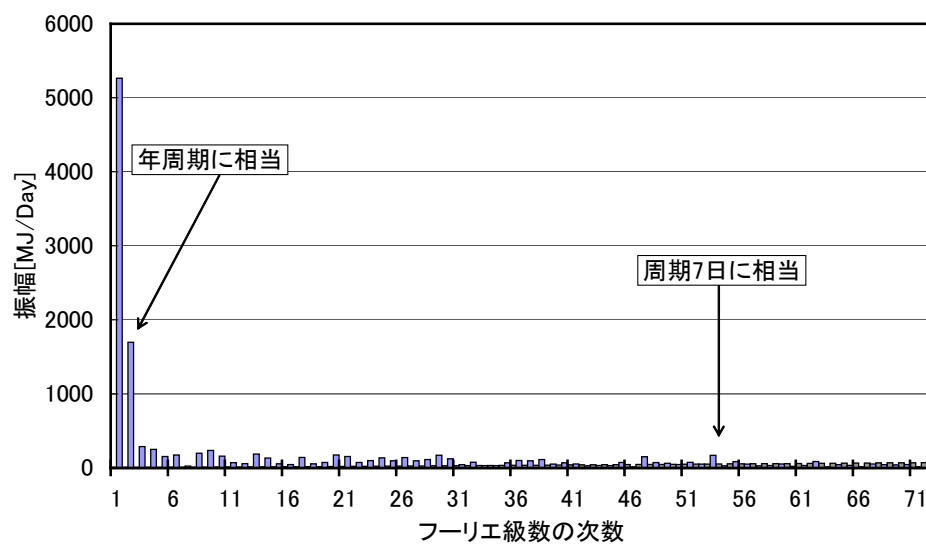


図 4.54 モニター 09 における夜間の日積算給湯使用量のフーリエ級数成分振幅

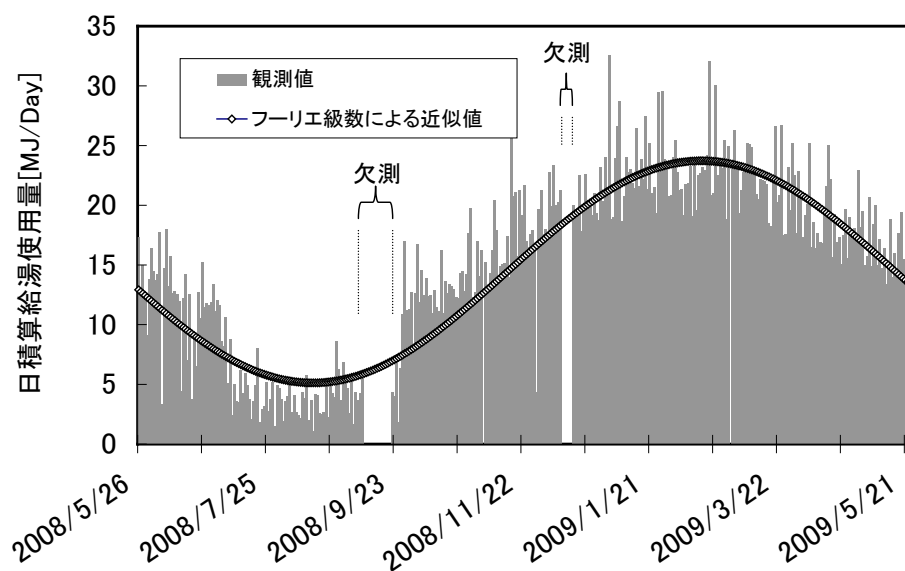


図 4.55 0 次及び 1 次の調波による夜間の日積算給湯使用量の近似
(モニター 09)

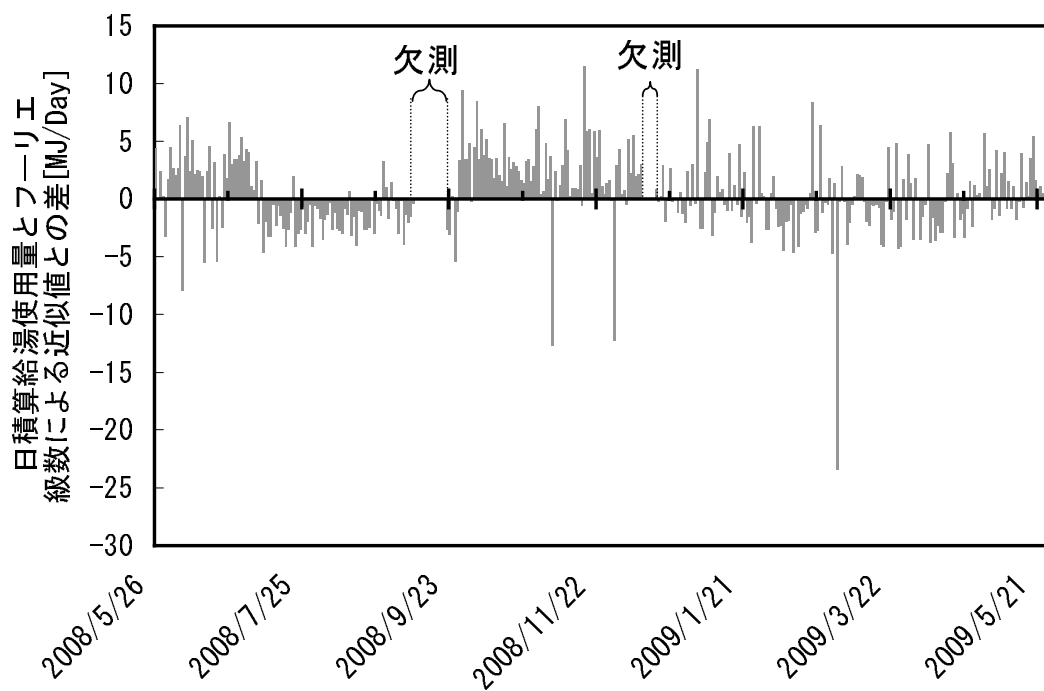


図 4.56 フーリエ級数により周期成分を除去した後の夜間の日積算給湯使用量
(モニター 09)

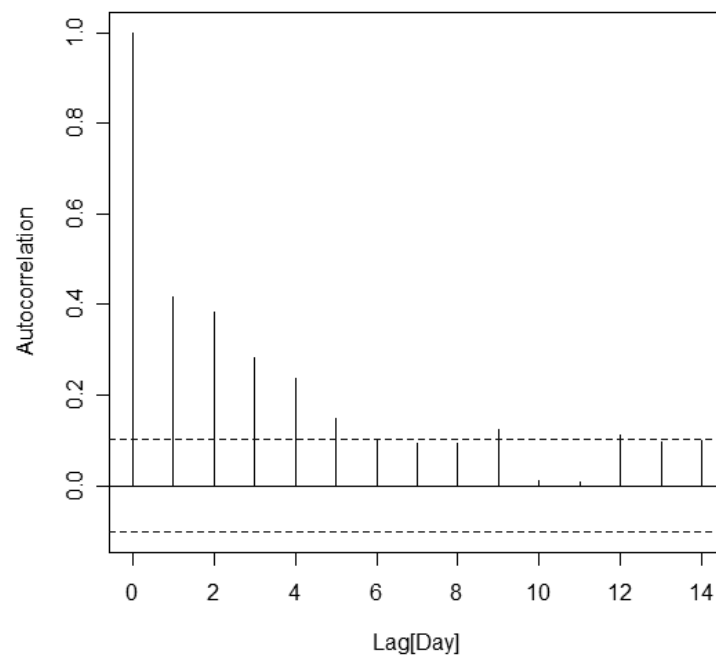


図 4.57 フーリエ級数により周期成分を除去した夜間の日積算給湯使用量の自己相関関数
(モニター 09)

2008年5月26日から2009年5月25日までの日積算給湯使用量に基づいて作成したモデルを用いて、2009年5月26日以降の日積算給湯使用量の予測を行った結果を図4.58及びその予測誤差のヒストグラムを図4.59に示す。急激な給湯使用がある日を除き、予測値は測定値を比較的良好に再現している。

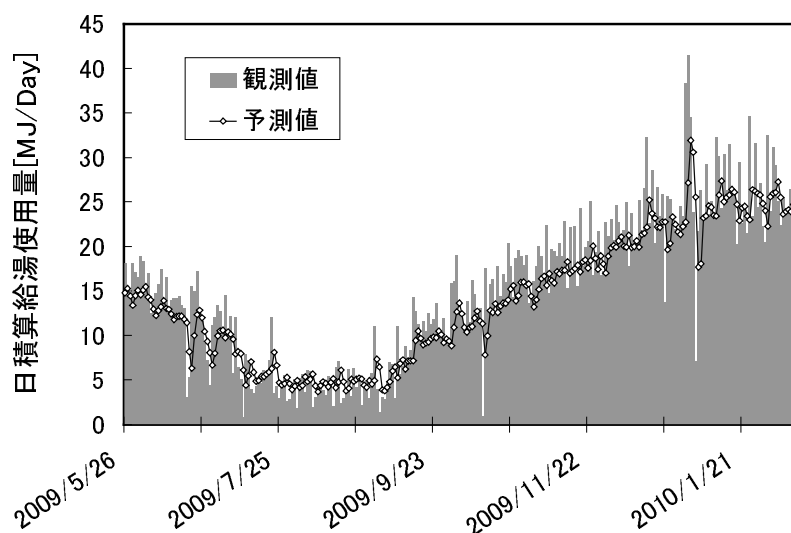


図 4.58 夜間の日積算給湯使用量の予測値と測定値の比較（モニター 09）

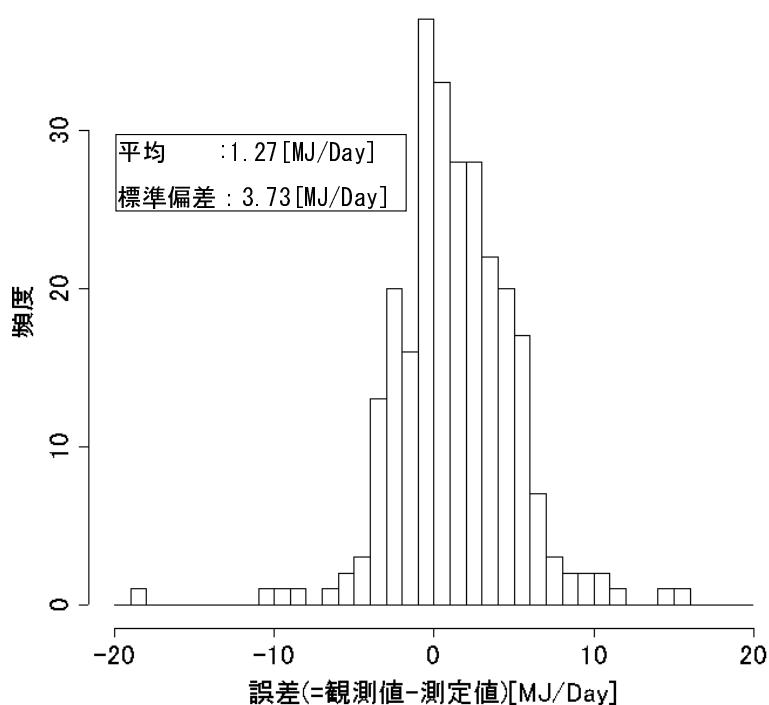


図 4.59 AR(2) による夜間の積算給湯使用量予測誤差のヒストグラム（モニター 09）

4.4.4 年間を通じてシャワー浴を基本とし、数日毎に湯張り入浴を行う住宅

表 4.1 に分類したように、年間を通じてシャワー浴を基本とし、数日毎に浴槽湯張り入浴を行うのは、モニター住宅 02、04 及び 08 である。給湯使用量予測モデルを作成する前に、これらの住宅の給湯使用の特徴について調べる。

このグループの特徴は日によって浴槽湯張り入浴かシャワー浴かが変化することであるので、1 日の給湯使用を「浴槽湯張りの給湯使用」と「シャワー等その他給湯使用」に分離したものを図 4.60（モニター 04）及び 4.61（モニター 08）に示す。

モニター 04（図 4.60）では、浴槽湯張り入浴をする日は給湯使用量が多く、浴槽湯張り入浴をしない日の給湯使用量は極めて少ない。

また、夏期は湯張り入浴かシャワー浴の何れかが行われるが、10 月以降は、湯張り入浴が主となるとともに、居住者が在宅していても入浴行為がない日もあるなど、モニター 04 では、浴槽湯張りの有無によって給湯使用量は大きく異なっている。

一方、モニター 08（図 4.61）では、浴槽湯張り入浴での使用量よりも、シャワーや台所で使用する給湯使用量の方が多く、シャワー浴の日でもモニター 04 と異なり、湯張り入浴をした日と同様に給湯使用量が多い。

これは、前章の表 3.3 のアンケート結果に示されているように、冬期においては"ふんだん"に給湯を使用しているという申告に対応している。また、モニター 04 とは異なり、冬期においても必ずシャワー浴または浴槽湯張り入浴を行っている。なお、モニター 02 は両者の中間型を示している。

これら 2 つの住宅の給湯使用量（図 4.60 及び 4.61）の自己相関関数を図 4.62 及び 4.63 に示す。モニター 04（図 4.62）は給湯使用量に周期性はなく、モニター 08（図 4.63）も、緩やかなトレンドは確認できるが明確な周期性はない。また、モニター 04 および 08 は他のパターンと異なり、1 年以上の測定データがないので、観測された給湯使用量のモデル化の可能性検討を行う。

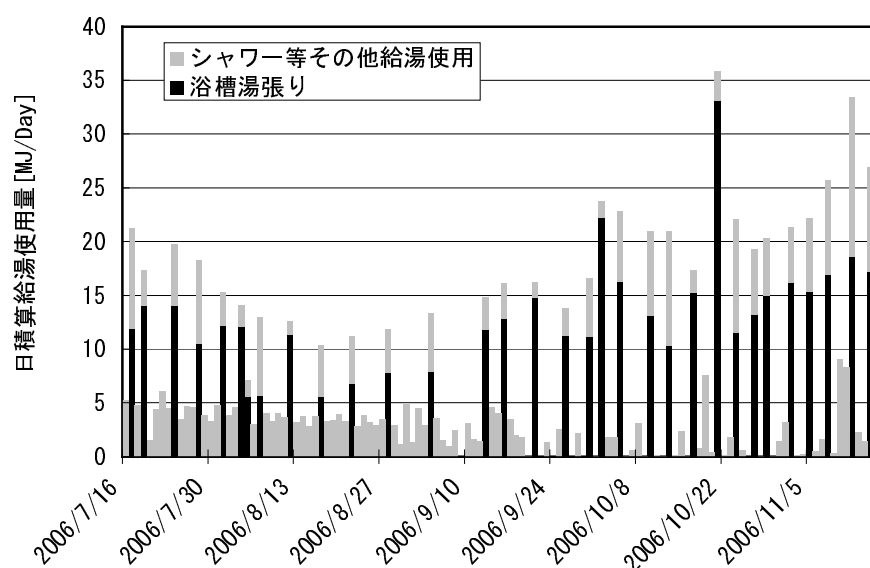


図 4.60 年間を通じてシャワー浴を基本とし、数日毎に湯張り入浴を行う住宅の日積算給湯使用量の推移（モニター 04）

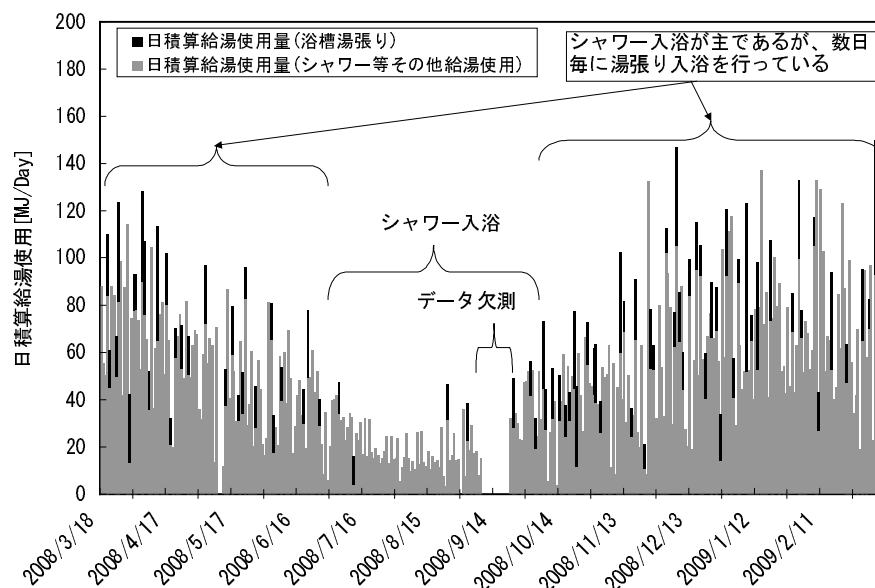


図 4.61 年間を通じてシャワー浴を基本とし、数日毎に湯張り入浴を行う住宅の日積算給湯使用量の推移（モニター 08）

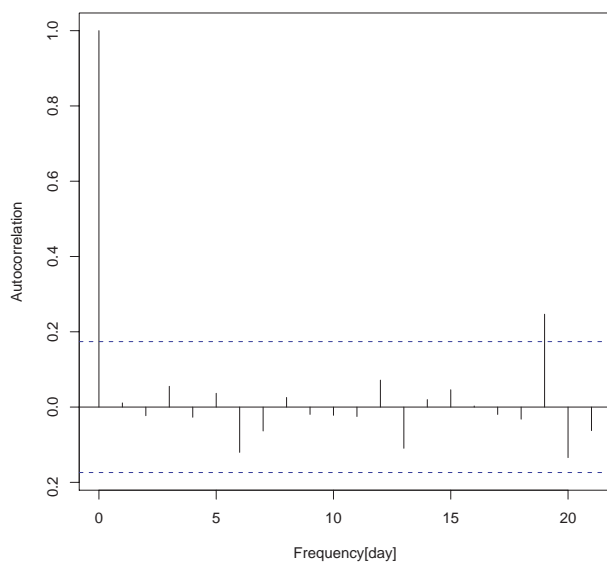


図 4.62 日積算給湯使用量の自己相関（モニター 04）

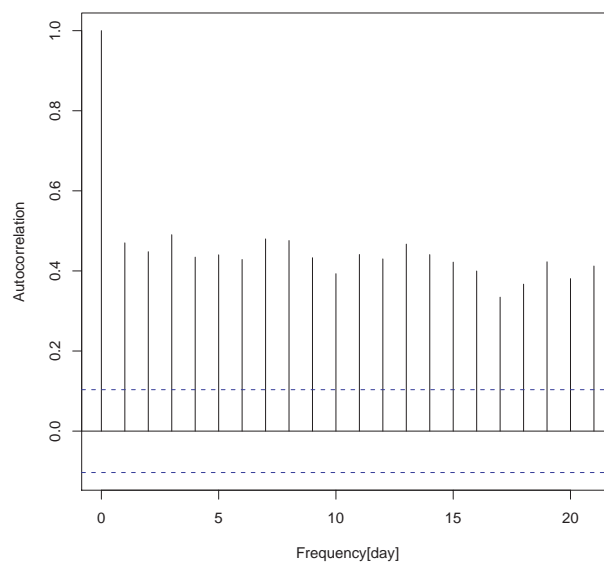


図 4.63 日積算給湯使用量の自己相関（モニター 08）

(1) モニター 04 における予測モデルの可能性

モニター 04 では、図 4.60 に示すように、浴槽湯張り入浴の有無が給湯使用量に占める割合が大きい。特定の曜日に湯張り入浴を行っているのか、給湯使用の曜日依存性について、測定期間（2006 年 7 月 16 日～11 月 25 日）における浴槽湯張り入浴の曜日別の割合を、表

4.2 に示す。例えば月曜に関しては、測定期間中の月曜日 18 回のうち 5 回において浴槽湯張り入浴を行っている。本表によれば、浴槽湯張りの入浴の曜日による著しい偏りは見られないと言え、確実に浴槽湯張り入浴をする日を予測するのは難しい。また、図 4.62 に示すように、日積算給湯使用量に関しても自己相関は白色雑音のそれに近い。

よって、このような入浴形態の住宅における日積算給湯使用量の予測は、別の情報を利用しない限り難しいものと考えられる。

表 4.2 曜日別の浴槽湯張り入浴割合（モニター 04）

曜日	月曜日	火曜日	水曜日	木曜日	金曜日	土曜日	日曜日
湯張り割合	5 回/18 回 =0.28	6 回/18 回 =0.33	4 回/18 回 =0.22	4 回/17 回 =0.24	4 回/17 回 =0.24	5 回/17 回 =0.29	3 回/18 回 =0.17

(2) モニター 08 における予測モデルの可能性

モニター 08 では、図 4.61 にみられるように、浴槽湯張り入浴の日でなくとも、シャワー等による給湯使用量が多く、モニター 04 のような極端な給湯使用量の差は見られない。そこで給湯使用全体を対象として、4.4.2 節の「夜間は季節ごとに湯張り又はシャワー浴を主とした入浴を行い、日中の給湯使用に曜日依存性のない住宅」の場合と同様にして、観測値のモデル化を行う。

まず、図 4.63 の日積算給湯使用量の自己相関関数に示すように、モニター 08 の日積算給湯使用量は、季節トレンド成分を含んでいる。2008 年 3 月 18 日から 2009 年 3 月 17 日までの 1 年間の日積算給湯使用量について、欠測を考慮したフーリエ級数を求めた結果を図 4.64 に示す。モニター 08 は、フーリエ級数の 0 次または 1 次の値が他に較べて大きい。そこで、図 4.65 に示すように 0 次及び 1 次の項のフーリエ級数により、モニター 08 における日積算給湯使用量を近似した。

次に、積算給湯使用量からこのフーリエ級数による近似値を差し引き、周期変動成分を取り除いた結果を図 4.66 に、その自己相関関数を図 4.67 に示す。図 4.67 に示すように、フーリエ級数により周期変動成分を取り除いた後の日積算給湯使用量は、前日、2 日及び 3 日前の給湯使用と弱い相関を示している。よって、このモニター 08 における日積算給湯をフーリエ級数による近似式及び 3 次の自己回帰モデル (AR(3)) により、式 4.10 のように近似した。

$$Q_{(n)} = FT_{(n)} + \alpha \cdot (Q_{(n-1)} - FT_{(n-1)}) + \beta \cdot (Q_{(n-2)} - FT_{(n-2)}) + \gamma \cdot (Q_{(n-3)} - FT_{(n-3)}) + \epsilon \quad (4.10)$$

ただし、

$Q_{(n)}$: n 日の日積算給湯使用量 [MJ/Day]

$FT_{(n)}$: n 日における 0、1 次のフーリエ級数による近似値 [MJ/Day]

$\alpha (= 0.14)$, $\beta (= 0.06)$, $\gamma (= 0.12)$: 自己回帰モデル (AR(3)) の係数

ϵ (平均 $\epsilon_m = 0$ [MJ/Day], 分散 $\epsilon_{\sigma^2} = 635.6$ [(MJ/Day)²]): 白色雑音

2008年3月18日から2009年3月17日までの日積算給湯使用量に基づいて作成したモデル式の計算結果を図4.68に、その計算値の誤差のヒストグラムを図4.69に示す。急激な給湯使用がある日を除き、計算値は測定値を比較的良好に再現している。

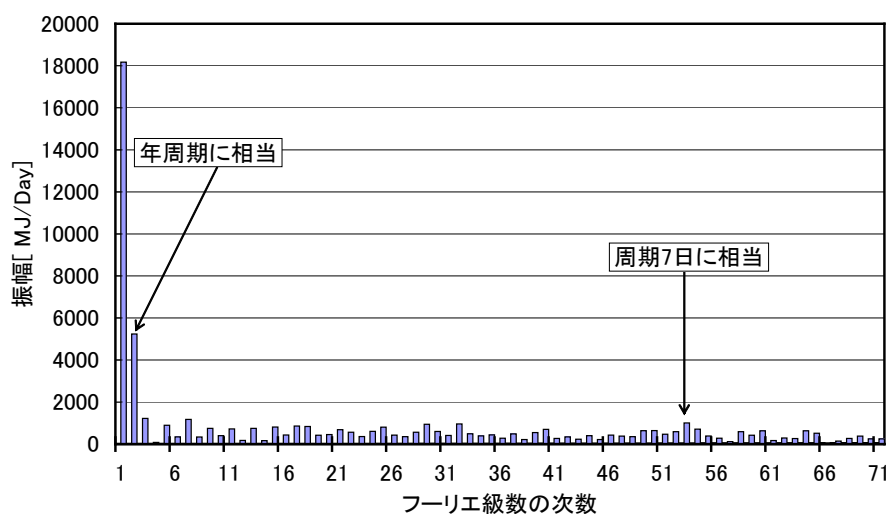


図 4.64 モニター 08 における日中の日積算給湯使用量のフーリエ級数成分振幅

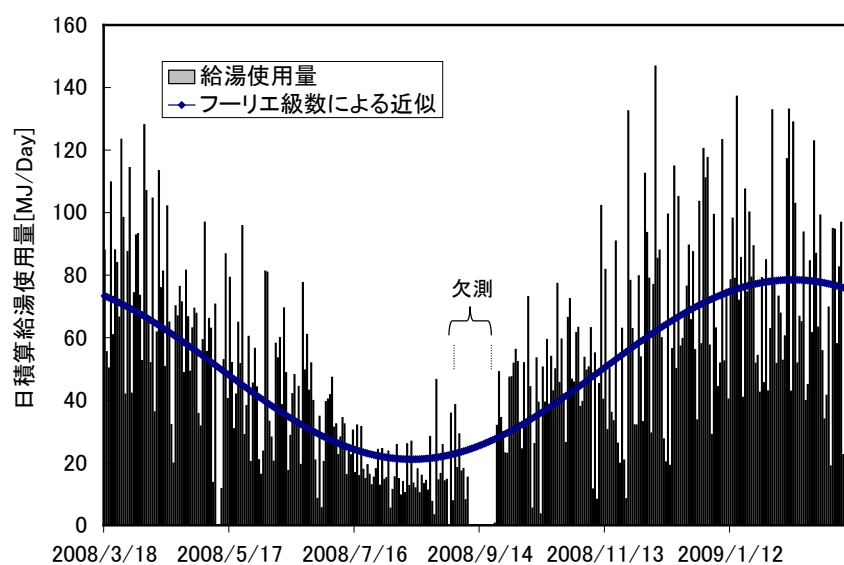


図 4.65 0 次及び 1 次の調波による日中の日積算給湯使用量の近似
(モニター 08)

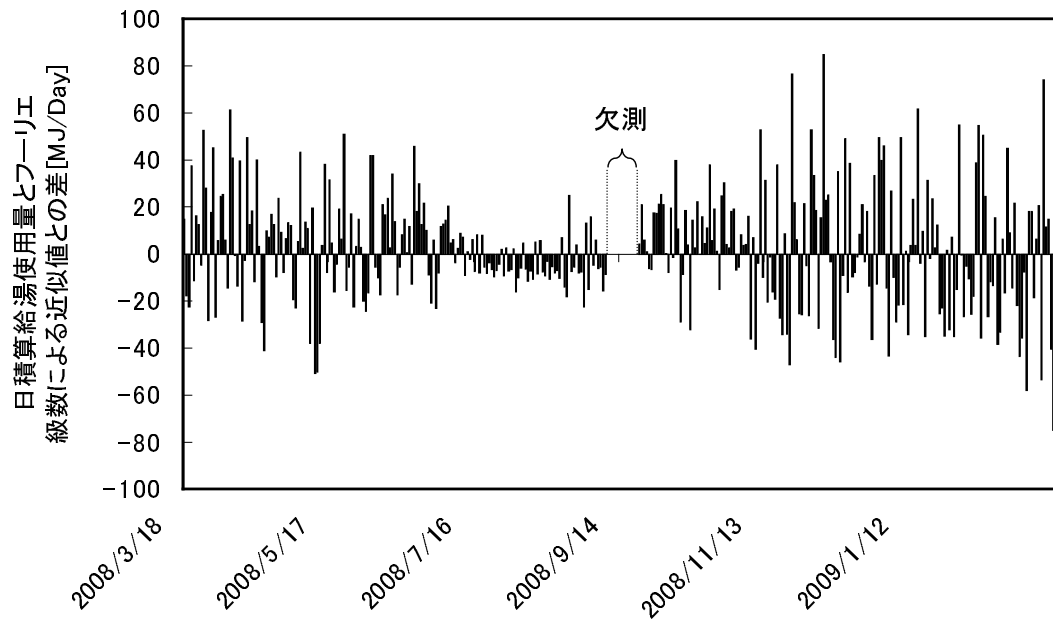


図 4.66 フーリエ級数により周期成分を除去した後の日中の日積算給湯使用量
(モニター 08)

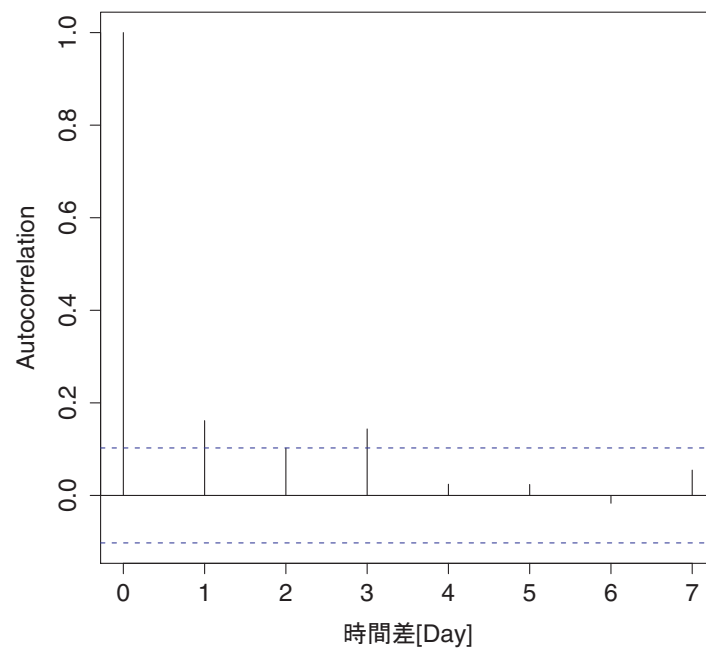


図 4.67 フーリエ級数により周期成分を除去した日中の日積算給湯使用量の自己相関関数
(モニター 08)

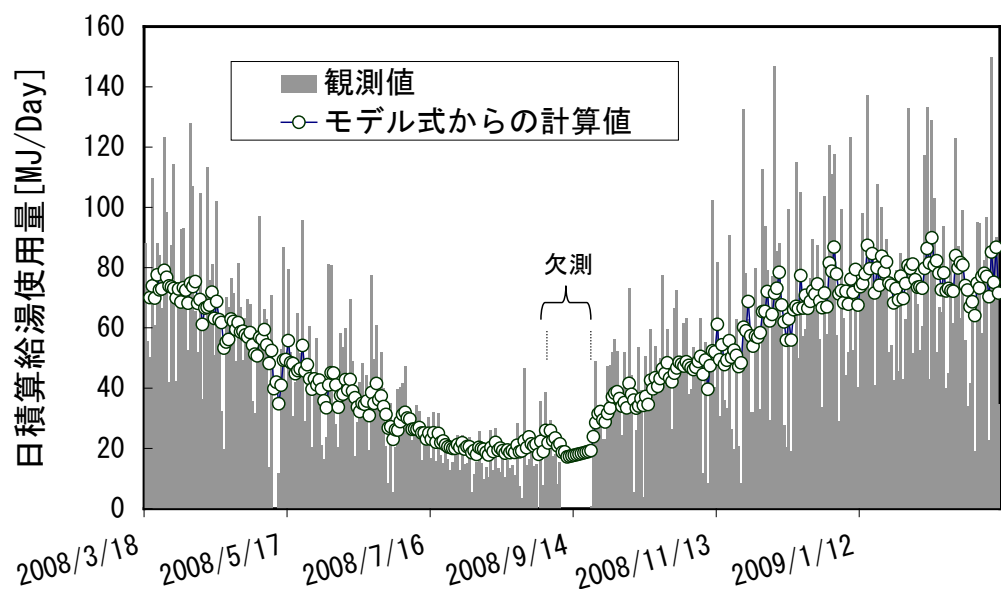


図 4.68 AR(3) による積算給湯使用量モデル (モニター 08)

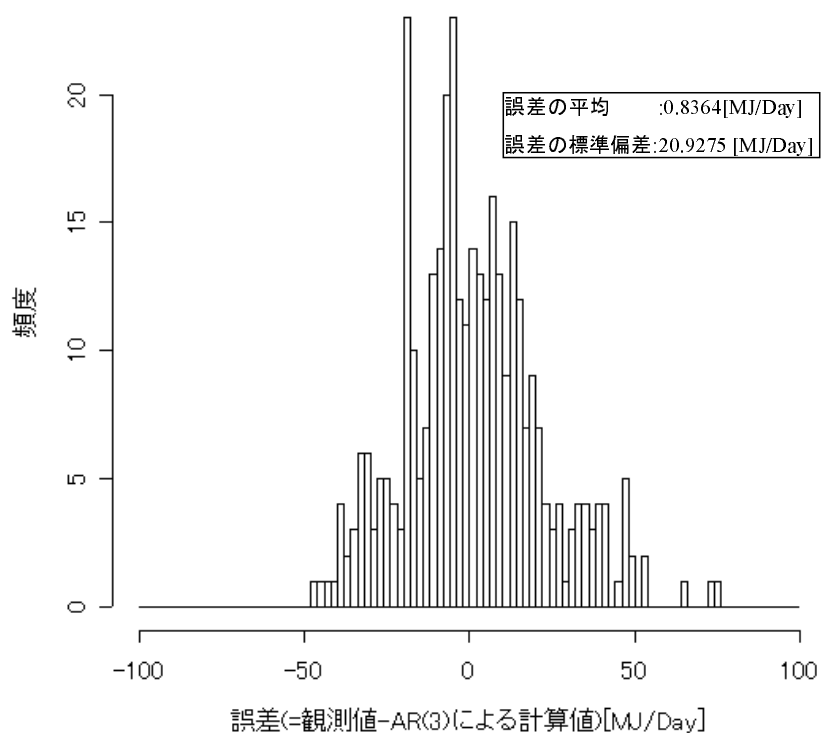


図 4.69 AR(3) による積算給湯使用量モデル式の誤差のヒストグラム (モニター 08)

4.5 考察

4.5.1 日積算給湯使用量の予測式について

給湯使用量の時系列予測を行うためには、日変動成分（短周期に対応）と季節による給湯及び給水温度の変動に由来する長周期成分を分けて考慮する必要がある。そこで、4.3 節では、各住宅における入浴状況を分析して、入浴パターンを下記の3種類に分類し、それぞれの給湯使用量予測式を作成した。

1. 夜間は季節ごとに湯張り又はシャワー浴を主とした入浴を行い、日中の給湯使用に曜日依存性のない住宅
2. 夜間は季節ごとに湯張り又はシャワー浴を主とした入浴を行い、日中の給湯使用に曜日依存性のある住宅
3. 年間を通じてシャワー浴を基本とし、数日毎に湯張り入浴を行う住宅

まず、「1. 夜間は季節ごとに湯張り又はシャワー浴を主とした入浴を行い、日中に周期的給湯使用のない住宅」の場合、日積算給湯使用量に含まれる季節トレンドを1年分の日積算給湯使用量の測定値をもとに算出したフーリエ級数による近似式で取り除いた。

この季節トレンドを取り除いた日積算給湯使用量をもとにした1次又は2次の自己回帰モデルにより日積算給湯使用量の予測式を作成した。この予測式の精度を確認するため、モニター03、05および07に関して予測式と観測値の比較を行った結果、予測値と観測値は大略一致することを確認した。

次に、「2. 夜間は季節ごとに湯張り又はシャワー浴を主とした入浴を行い、日中の給湯使用に曜日依存性がある住宅」について、モニター09を対象に曜日依存性のある日中と夜間の給湯使用に分けた予測モデルを作成した。

日中の給湯使用に含まれる季節トレンド及び曜日依存性については、0次及び1次のフーリエ級数による近似値により季節トレンドを取り除き、曜日依存性は、季節トレンドを取り除いた日積算給湯使用量の曜日ごとの平均値により取り除いた。これらの操作を行った後の日中の給湯使用量の自己相関は、白色雑音のそれに近くなった。よって、日中の給湯使用は、季節トレンドの近似と季節トレンドを取り除いた日積算給湯使用量の曜日ごとの平均値により予測できることを確認した。

また、夜間の給湯使用量に関しては、「3. 夜間は季節ごとに湯張り又はシャワー浴を主とした入浴を行い、日中の給湯使用に曜日依存性がない住宅」の場合と同様の方法で予測式を構成した。予測式の作成に使用していない測定期間を対象に予測式と観測値の比較を行った結果、予測値と観測値は大略一致していることを確認した。

最後に、「3. 年間を通じてシャワー浴を基本とし、数日毎に湯張り入浴を行う住宅」について、モニター04と08を対象に予測モデルの検討を行った。

モニター04は、シャワー浴の日と湯張り入浴の日における日積算給湯使用量が極端に異なるという特徴がある。この場合、使用量が少ないシャワー等の使用量の予測よりも湯張り入浴のための給湯使用量の予測が重要であるが、湯張り入浴の日に周期性や曜日依存性がな

く、湯張り日そのものの予測が難しい。このような住宅においては、蓄熱式の給湯システムではなく、需要に応じて逐次に湯を沸かす給湯システム（ガス給湯器等）の導入が望ましいものと考えられる。

一方モニター 08 では、「1. 夜間は季節ごとに湯張り又はシャワー浴を主とした入浴を行い、日中に周期的給湯使用のない住宅」と同様手法で予測ができることを確認した。

今回の予測モデル作成には、過去 1 年間分の測定データを使用した。よって、1 年間分の測定データがない住宅における予測モデルを作成するには、何らかの給湯データの補完が必要となる。今回得られた給湯使用量に関する結果から、給湯使用量は基本的にフーリエ級数の 0 次（年平均値）及び 1 次（年周期）というゆっくりとした変動で近似できることを考慮すると、測定値を 1 年周期の正弦波で近似するなどの方法によりトレンドを求めるか、あるいは計測期間がごく短期間ならば直線で日積算給湯使用量近似することにより、これまでと同様の手法で自己回帰モデルを作成できるものと考えられる。

4.5.2 本予測モデルの応用例

モニター 07 を例にして、翌日の蓄熱予測運転を行う状態を想定する。通常用いられる積算開始時刻を午前 0 時とした日積算給湯使用量データを用いて、過去 1 週間の移動平均値により算出した予測値を図 4.70 に示す。また、積算開始時刻を午前 4 時として求めた日積算給湯使用量データを用いて、過去 1 週間の移動平均値により算出した予測値を図 4.71 に示す。表 4.3 に示すように、積算開始時刻を 0 時から 4 時に変更することにより、予測誤差の平均及び標準偏差は小さくなる。

次に、今回提案する積算開始時刻を午前 4 時とした日積算給湯使用量データを基に自己回帰モデルによる予測値を図 4.72 に示す（フーリエ級数による年変動を一点鎖線で示す）。同じ積算開始時刻とした図 4.71 の 1 週間の移動平均による予測に較べて、自己回帰モデルによる予測値は過去の急激な変化に大きくは影響されていない。その結果、表 4.3 に示すように、積算開始時刻が同じ 1 週間移動平均による予測値に較べて、自己回帰モデルによる予測値の平均誤差は小さくなっている。

以上のように、従来の 1 週間の移動平均に較べて、積算開始時刻を調整した日積算給湯量を基にした自己回帰モデルによる予測は、予測精度が向上しているといえる。予測誤差の減少により、過剰な蓄熱運転の抑制が可能となり、給湯エネルギー消費削減につながるといえる。

表 4.3 1 週間の移動平均及び自己回帰モデルによる予測誤差の平均及び標準偏差

	誤差（予測値と観測値の差の絶対値）の平均[MJ/Day]	誤差（予測値と観測値の差の絶対値）の標準偏差[MJ/Day]
1週間の移動平均 （積算開始時刻午前 0 時）	8.26	9.29
1週間の移動平均 （積算開始時刻午前 4 時）	7.43	8.99
自己回帰モデル （積算開始時刻午前 4 時）	6.69	9.59

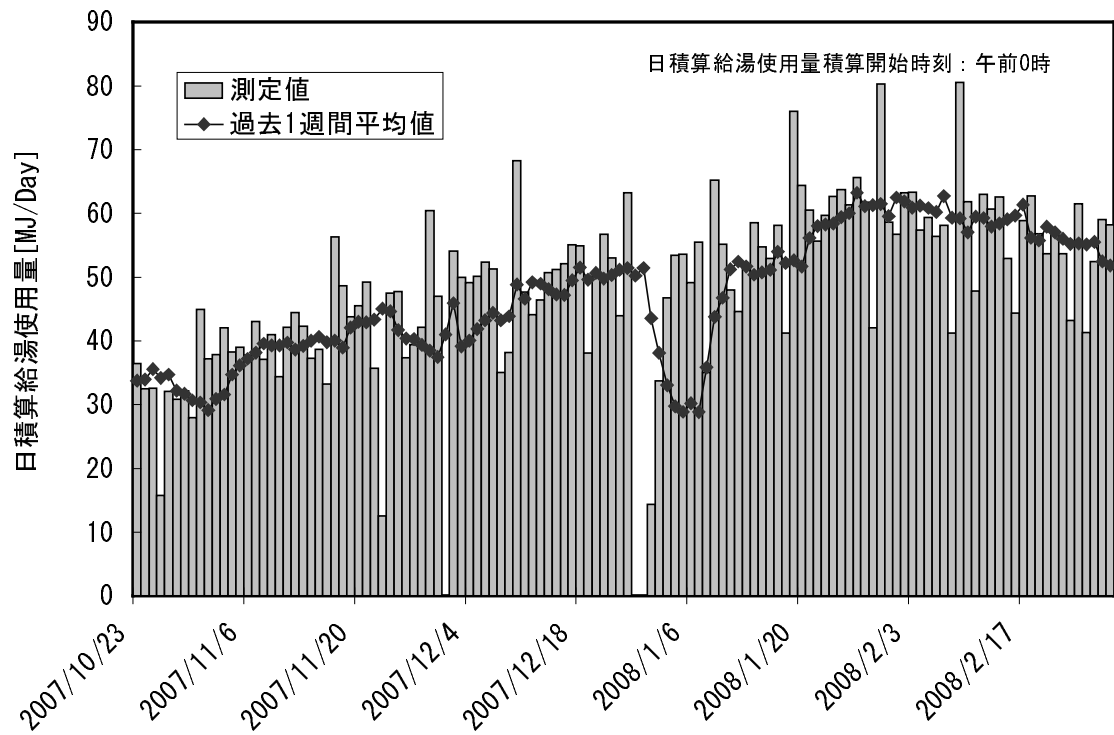


図 4.70 積算開始時刻の設定を午前0時とし、日積算給湯使用量の過去1週間の移動平均で予測した場合（モニター07）

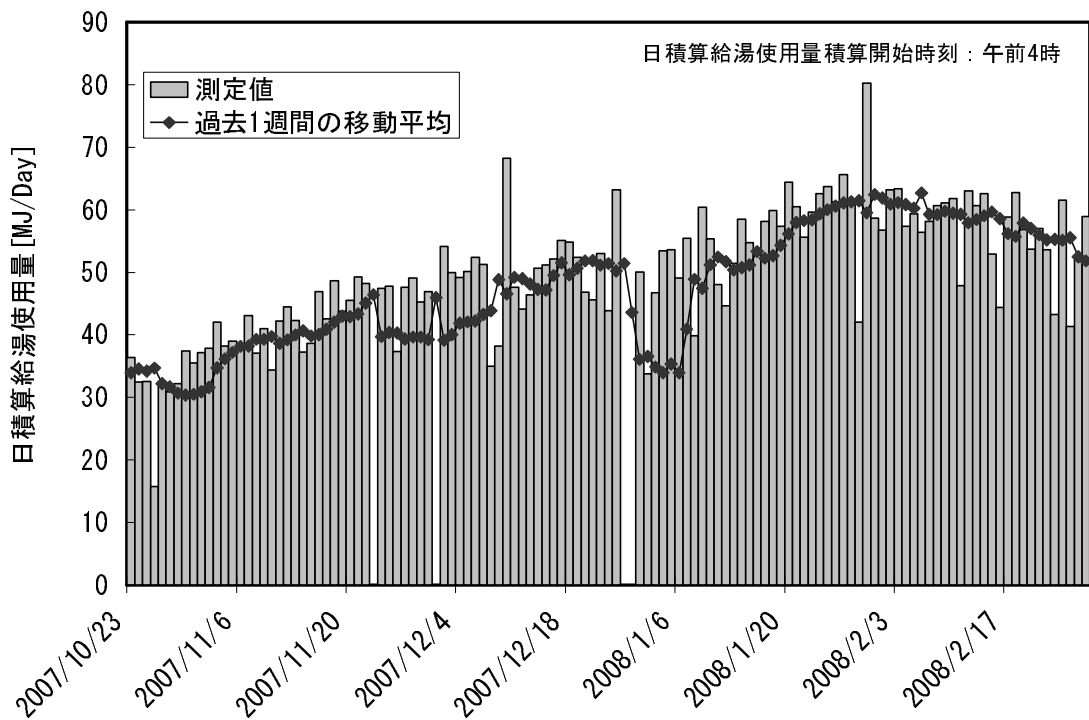


図 4.71 積算開始時刻の設定を午前4時とし、日積算給湯使用量の過去1週間の移動平均で予測した場合（モニター07）

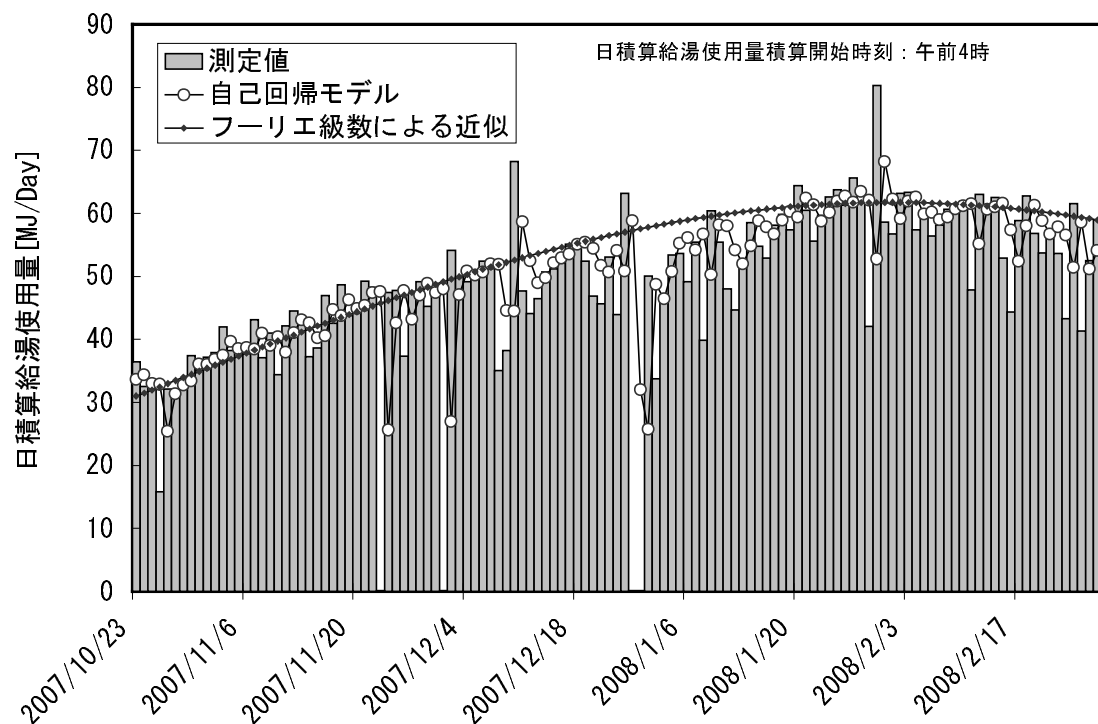


図 4.72 積算開始時刻の設定を午前4時とし、日積算給湯使用量を自己回帰モデルにより予測した場合（モニター 07）

4.6 第4章のまとめ

本章では、まず日積算給湯使用量の算定において、各住宅における生活スタイルを考慮して積算開始時刻を設定することにより、日積算給湯使用量における極端なピークの発生を減らせる場合があることを示した。

この整理法を適用して求めた日積算給湯使用量にもとづき、入浴パターンを3種類に分類し、それぞれのパターンに対応じた給湯使用量予測モデルの作成を行った。その結果、日積算給湯使用量に含まれる季節トレンド成分を0次（年平均成分）および1次（年周期成分）のフーリエ級数により取り除いた後の日積算給湯使用量を、1次又は2次の自己回帰モデル表現することにより、給湯使用量の予測が可能なことを示した。

第5章 給湯温度と室温・外気温度の関係

5.1 はじめに

第3章の給湯及び電力使用量測定結果のまとめで指摘したように、アンケートと給湯消費量の測定結果から判断すると、住宅内の温熱環境への不満と給湯消費量は相関しているようである。また、第3章のアンケートからは、省エネのために入浴スタイルを変更するような協力は得にくいようである。そこで本章では、冬期の給湯用エネルギーを減らす試みとして、協力が得にくい入浴スタイルの変更ではなく、冬場の給湯温度を2~3 程度下げることにより冬期の給湯用エネルギー消費を削減する可能性について検討した。

ここで、高橋¹⁾らは、冬期入浴時の浴室内暖房利用により入浴スタイルの変更を試みたこと、及び、第3章で得た住宅内の温熱環境への不満と給湯消費量の相関性に着目し、住宅内の温熱環境への不満の解消、特に居住者の滞在時間が長いリビングの温熱環境を改善することにより、給湯温度を下げて給湯使用量を削減する可能性について検討する。そのために、住宅内外の温熱環境と給湯温度に注目した分析を行った。

なお、今回使用する給湯・室内外の温熱環境に関するデータは、第3章のモニターと同じである。

5.1.1 解析の目的

今回の分析の目的は、冬期の室内の温熱環境の改善により、冬場の給湯温度設定を下げることである。そこで、冬期における室内の温熱環境と給湯温度設定について分析した。ただ、表3.1に示すように、住宅毎に夏期と冬期の給湯温度設定は異なっている。そこで、住宅毎に夏期と冬期の給湯温度の差と、夏期と冬期のリビングの温熱環境の差に着目した分析を行い、室内の温熱環境が給湯温度に与える影響を分析する。

5.1.2 測定データ分析方法

入浴時の給湯温度と室温の関係を調べるために行ったデータ整理法を、モニター07を例に説明する。図5.1は、モニター07における2006年10月16日から25日における暖冷房室(1Fリビング)・非暖冷房室(1F脱衣室)・外気温の測定値の推移(15分間隔)である。この測定結果を1時間平均したものが図5.2である。

次に図5.3は、モニター07の2006年10月16日から25日における給湯温度・給水温度等の測定値の推移(1分間隔)である。この図において、給湯の使用がある個所において、給

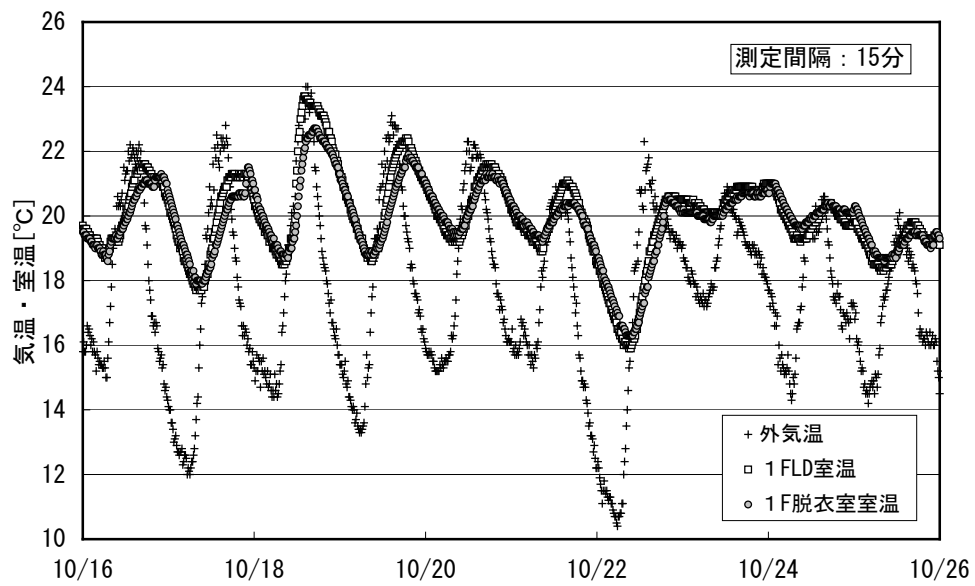


図 5.1 暖冷房室・非暖冷房室の室温と外気温の測定結果（モニター 07）

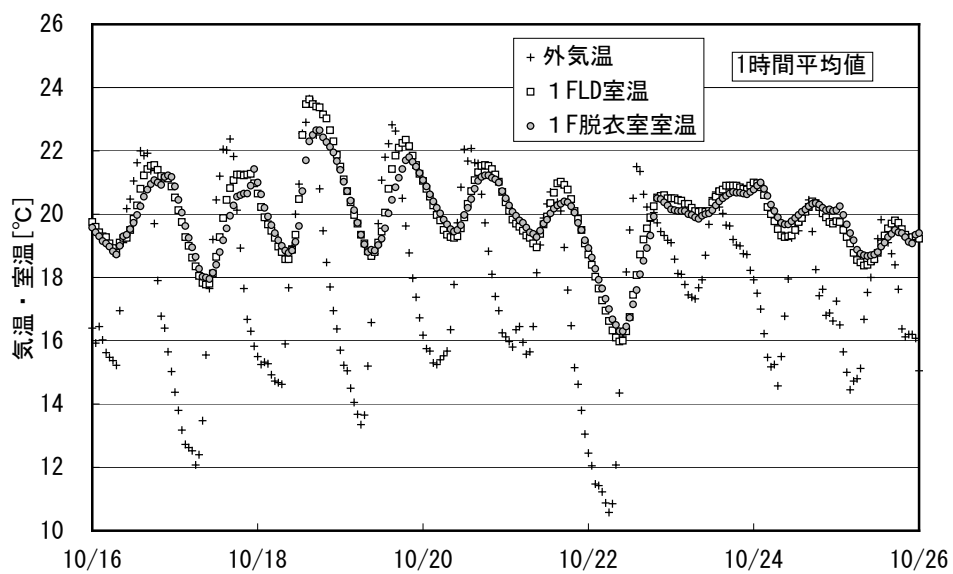


図 5.2 暖冷房・非暖冷房室の室温と外気温の1時間平均値の推移（モニター 07）

湯温度（シャワー等給湯温度・風呂湯張り温度）は大きく変化している。この給湯使用がある時間帯における給湯温度と時刻を示したものが図 5.4 である。× 印は、例えば 10 月 17 日の 21 時に給湯使用があり、その時の給湯温度は 41.1 °C であったことを意味する。

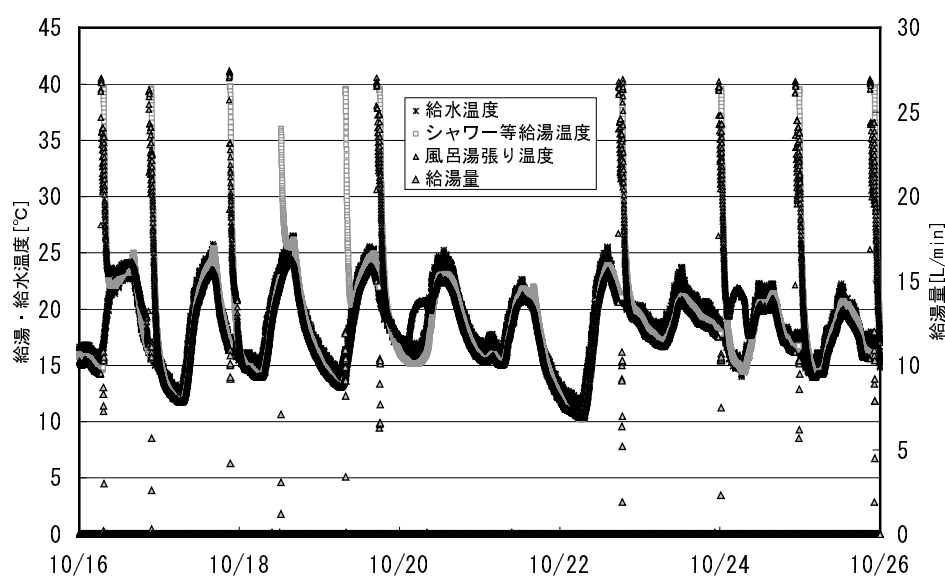


図 5.3 給水温度・シャワー等給湯温度・風呂湯張り温度及び給湯量の推移（モニター 07）

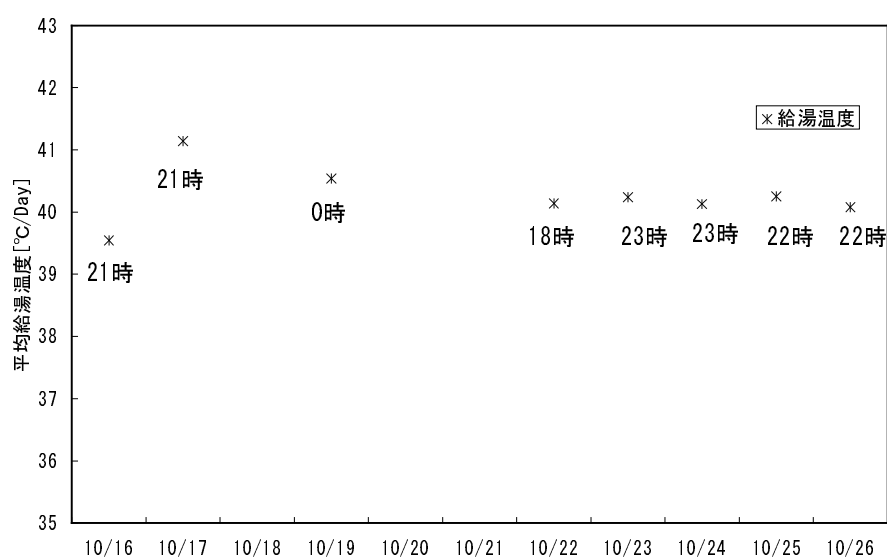


図 5.4 給湯温度（シャワー等給湯温度・風呂湯張り温度）及び給湯使用時刻（モニター 07）

図 5.5 は、図 5.4 に図 5.2 の給湯使用時刻における室内温熱環境と給湯温度を併せて示したものである。図 5.5 のようなデータ整理を、モニター 07 における全測定期間に当てはめたものが図 5.6 である。このようなデータ整理結果に基づいて、各住宅における給湯温度と室内温熱環境の推移分析を行った。

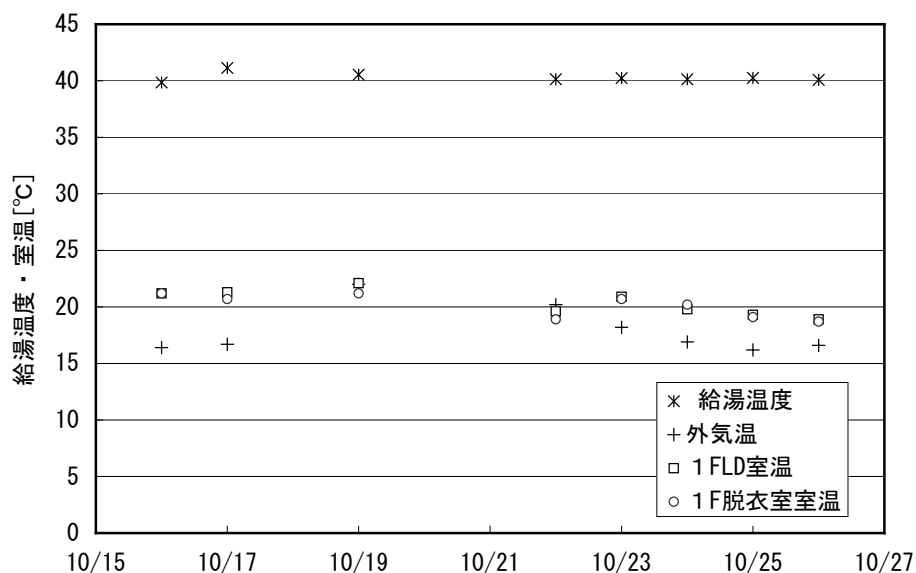


図 5.5 暖房室・非暖冷房室の室温と外気温及び給湯温度の変化（モニター 07）

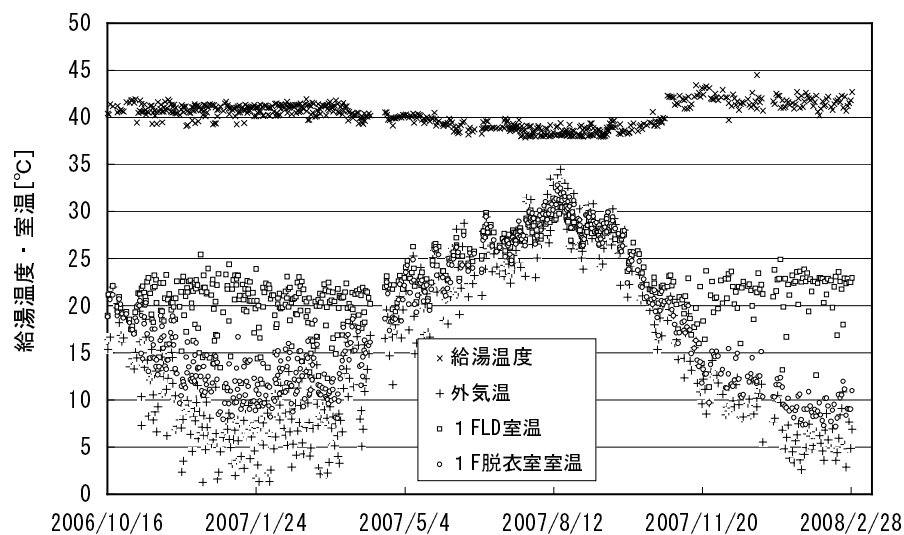


図 5.6 暖房室・非暖冷房室の室温と外気温及び給湯温度の季節変化（モニター 07）

5.2 給湯温度と室温の季節変化

5.2.1 モニター 01 における給湯温度と室温の関係

表 3.2 に示すように、モニター 01 は、中間期及び夏期にはシャワー入浴を行い、冬期は浴槽湯張り入浴を行う住宅である。冬期の温熱環境については、表 3.5 に示すように、無暖房時の温熱環境には不満を感じているが、暖房時の温熱環境には満足していると回答しており、総合的な快適性でも不満を感じていない。これは夏期においても同様である。

(1) 外気温・室温と給湯温度の変化

モニター 01 における外気温、室温及び給湯温度の推移を、暖冷房室（リビング）については図 5.7 に、非暖冷房室（脱衣室・客間）については図 5.8 に示す。これらは、居住者が浴槽湯張り入浴又はシャワー浴をした時における外気温度、室温及び給湯温度の 1 時間平均値をまとめたものである。リビングは、モニターが主に過ごしている部屋であり、通常は冷暖房を行っている。客間及び脱衣室では通常冷暖房を行っていない。なお、モニター宅への聞き取り調査によれば、客間はあまり使用していないとのことであった。

図 5.7 によると、夏期に外気温度が 30 を超える場合でも、リビングの室温は冷房の使用により 26～28 程度となっている。一方、図 5.8 によると、客間及び脱衣室の室温は外気温度にほぼ等しい。また、外気が 25 以下になる中間期から冬期では、客間及び脱衣室の室温は外気温度と共に低下するが、リビングの室温は暖房の使用により 20～25 程度で推移している。

給湯温度は、冬期から中間期には 38.7 程度、夏期には 37.5 程度のほぼ 2 つのレベルに設定されている。この給湯温度は、7 月 22 日頃に 38.7 から 37.5 に下げられ、9 月 14 日頃に 37.5 から 38.7 に上げられている。

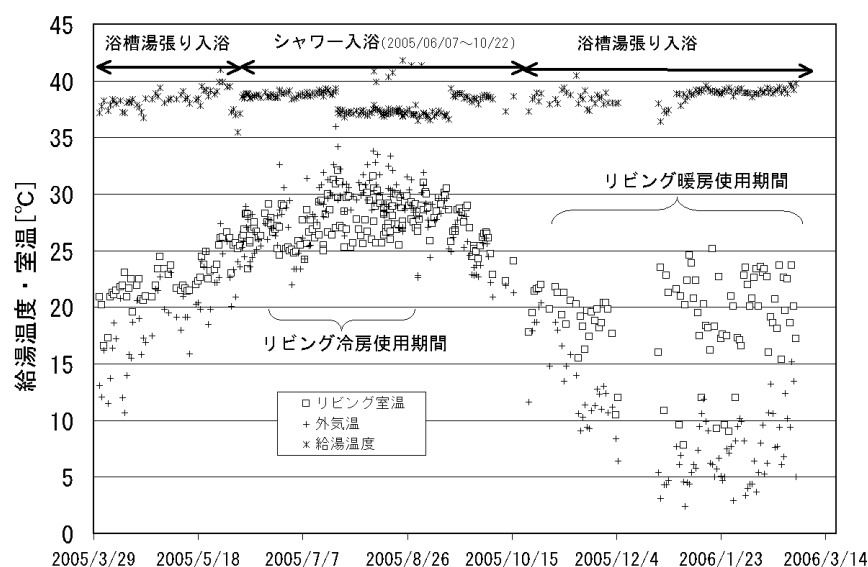


図 5.7 暖冷房室の室温と外気温及び給湯温度の変化（モニター 01）

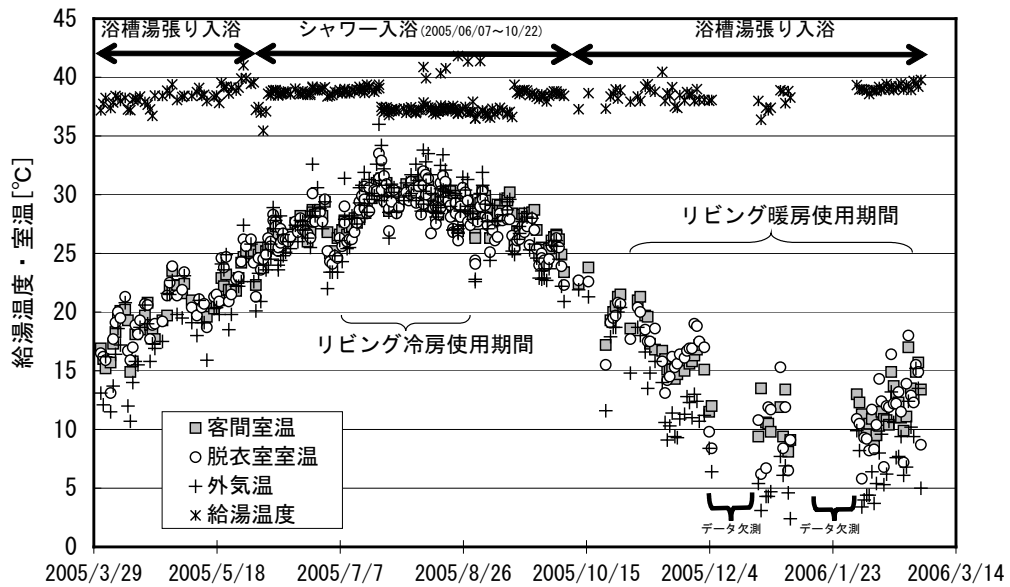


図 5.8 非暖冷房室の室温と外気温及び給湯温度の変化（モニター 01）

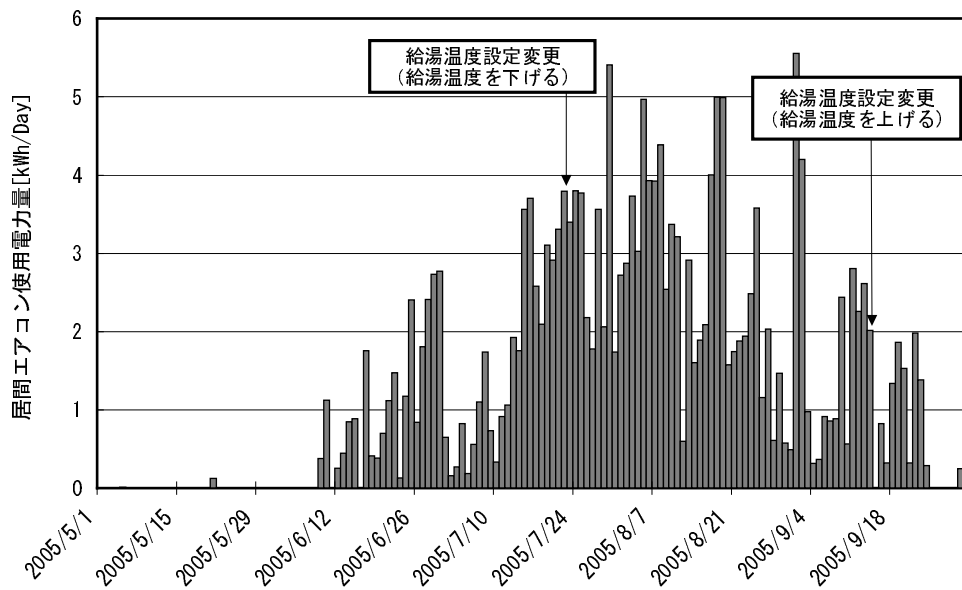


図 5.9 リビングエアコンの日積算電力消費量の推移（モニター 01）

(2) 入浴スタイルの変化

入浴スタイルの変化が生じたのは、外気が25℃を超えたあたりで、この時に湯張り入浴からシャワー浴へ切り替わっている。この時のリビングにおけるエアコンの電力消費の推移を図5.9に示す。リビングでエアコンが使用されたのは、6月9日から9月24日であった。このエアコンの使用開始時期と湯張り浴からシャワー浴への変更時期（2005年6月7日）は、ほぼ一致するといえる。逆に外気温が25℃を下回り始めた頃にシャワー浴から湯張り入浴へ移行している。なお、入浴スタイルの変化の前後で給湯温度に変化はない。

(3) 外気温・室温と給湯温度の相関

外気温と給湯温度、室温の相関を図5.10に示す。非暖冷房室である脱衣室及び客間の室温は外気温とほぼ直線的な関係で変化している。一方、暖冷房室であるリビングの室温に関しては、20～25℃の範囲では外気温とほぼ等しくなっているが、室温が27℃を超えたあたりからは冷房が使用されたため、外気温よりも低めに推移している。逆に、室温が20℃より低下し始めると、暖房の使用により外気温よりも高めに推移している。給湯温度は、外気温が30℃を超え始めた頃に38.7℃から37.5℃へと下げられていた。また、外気温が26℃を下回り始めると、給湯温度は37.5℃から38.7℃へと上げられており、室内の暖房開始時期（外気温20℃以下）よりも早い時期に変更されている。

(4) まとめ

以上、モニター01宅では、年間を通じてリビングの温度を22～28℃程度に設定していた。給湯温度と暖房室の室温との図5.11にも示されているように、給湯温度は、およそ37.5℃と38.7℃の2段階で設定されていた。また、給湯温度が変更される前に入浴スタイルの変更があった。

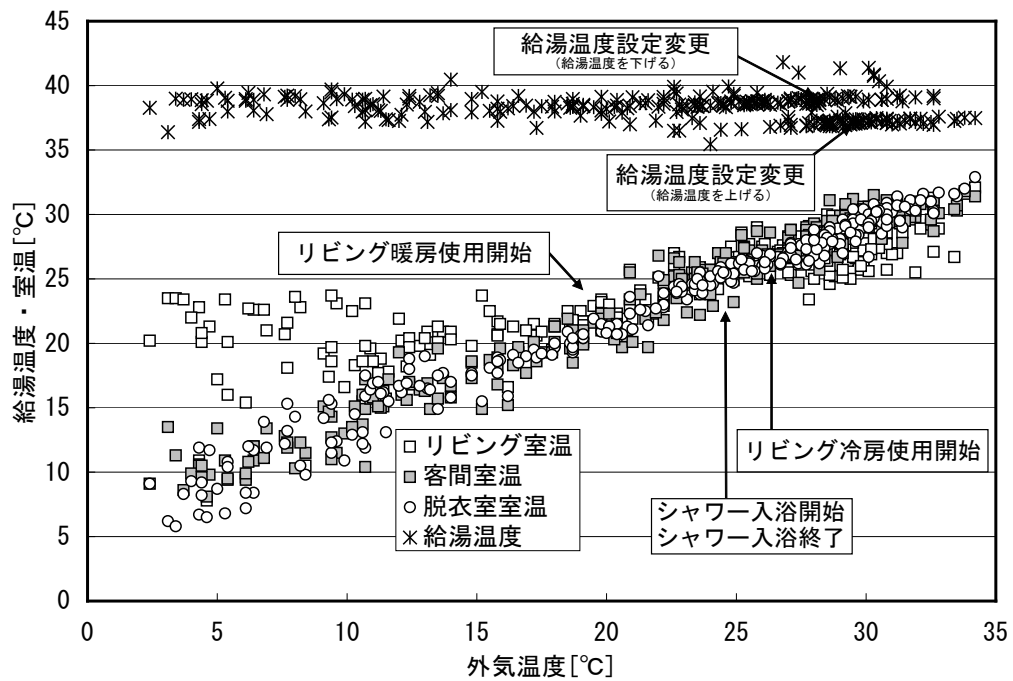


図 5.10 外気温度に対する給湯温度・室温の関係 (モニター 01)

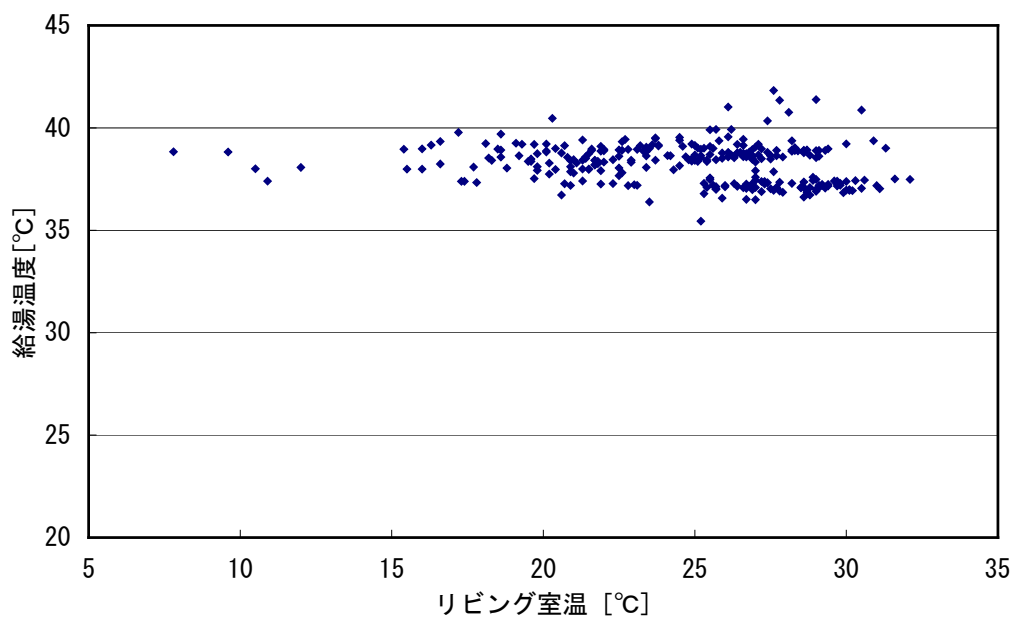


図 5.11 給湯温度・暖房室温の関係 (モニター 01)

5.2.2 モニター 06 における給湯温度と室温の関係

表 3.2 に示すように、モニター 06 では季節による入浴スタイルの変化はない。冬期の温熱環境については（表 3.5）無暖房時の温熱環境に不満を感じている。また、暖房時の温熱環境には満足であると回答しているが、総合的な冬期の快適性は不満となっている。夏期においては室内温熱環境への不満は感じていない。なお、このモニター宅における給湯測定は 2006 年 11 月から 2008 年 9 月であるが（表 3.1）、室内の温熱環境測定は 2006 年 11 月から 2008 年 6 月までとなっている。

モニター 06 は集合住宅から戸建に 2007 年 12 月末に転居している。このため、集合住宅に居住していた時を「モニター 06（集合）」、戸建住宅に居住してからを「モニター 06（戸建）」と表記する。

(1) 外気温・室温と給湯温度の変化（集合）

モニター 06（集合）における外気温、室温及び給湯温度の推移を、暖冷房室（リビング）については図 5.12 に、非暖冷房室（洋間・脱衣室）については図 5.13 に示す。居住者は通常リビングで過ごしており、冷暖房を行っている。脱衣室は冷暖房を行っておらず、洋室もあまり冷暖房は行っていない。

夏期においては、リビングの室温は冷房の使用により外気温度より低い、洋間及び脱衣室の室温は、外気温度より高いか、等しくなっている。表 3.5 に示すように、モニター 06（集合）では、夏期の無冷房時に高い満足感はないものの不満はないと回答しており、モニター 01 ほどエアコンを多用していない。外気が 25℃ 以下になる中間期から冬期では、外気温度に較べては脱衣室及び洋間の室温高い。また、脱衣室及び洋間の室温に較べてリビングの室温は高く、ほぼ 23℃ 程度に保たれている。

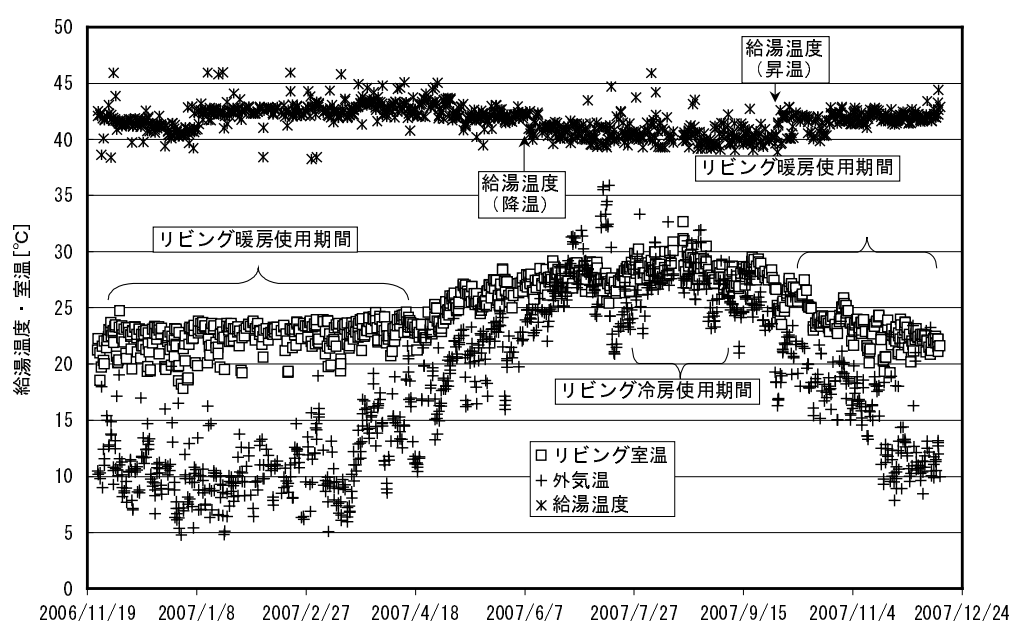


図 5.12 暖冷房室の室温と外気温及び給湯温度の変化（モニター 06（集合））

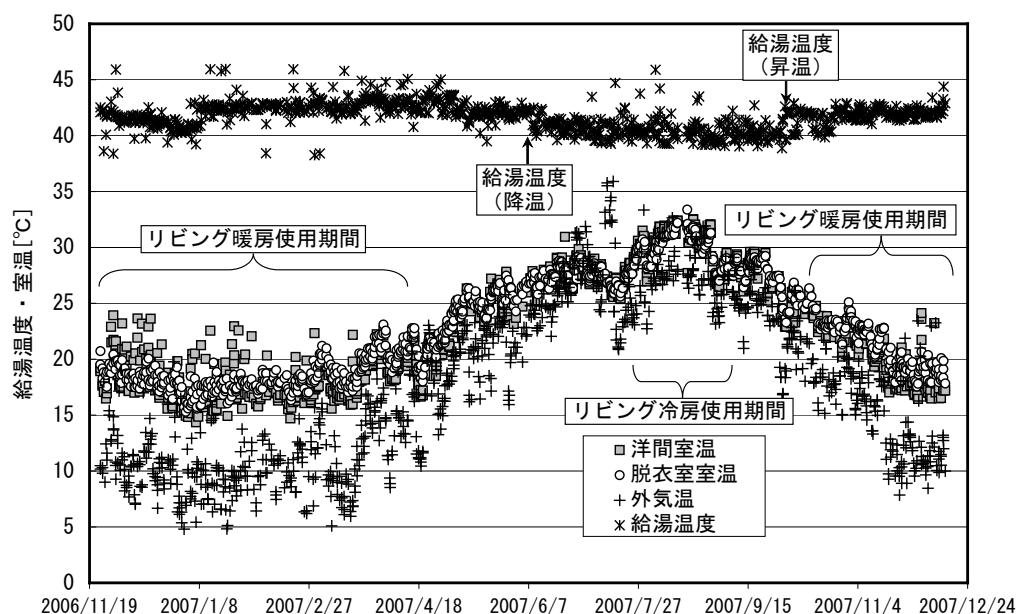


図 5.13 非暖冷房室の室温と外気温及び給湯温度の変化（モニター 06（集合））

(2) 入浴スタイルの変化（集合）

外気温度に対する給湯温度と室温の関係を図 5.14 に示す。非暖冷房室である脱衣室は、外気温が 15 以下に低下しても 17 近くの室温を保っている。集合住宅で隣接する住宅からの影響もあるため、無暖房でも外気温度よりも高くなっているものと推測される。またリビングの室温は、外気の温度が 17 を下回っても 23 近辺を保っており、脱衣室よりも 5～8 程度高い。給湯温度は、外気温度が 25 より高い時には 40 程度である。外気温度が 20～25 の間で低下すると給湯温度は徐々に 42 まで上昇するが、それより外気温が下がってもほぼ 42 で一定である。この給湯温度が変化する期間においては、リビング室温は外気温度の低下と共に 23 まで下がるが、23 近傍で一定した温度設定になっている。

(3) まとめ（集合）

図 5.15 の給湯温度と暖房室温に示されるように、モニター 06（集合）では、年間を通じてリビング内の温度は 18～31 程度に設定されていること、夏期は 40 近辺の給湯温度が選択され、中間期から冬期にかけて 42 まで給湯温度は上昇していることが分かる。

(4) 外気温・室温と給湯温度の変化（戸建）

モニター 06（戸建）における外気温と室内温度及び給湯温度の関係を、冬期から中間期に相当する 6 月までのデータについて図 5.16 と 5.17 に示す。通常モニターはリビングで過ごし、冷暖房も行っている。また、洗面所は冷暖房を行っていない。

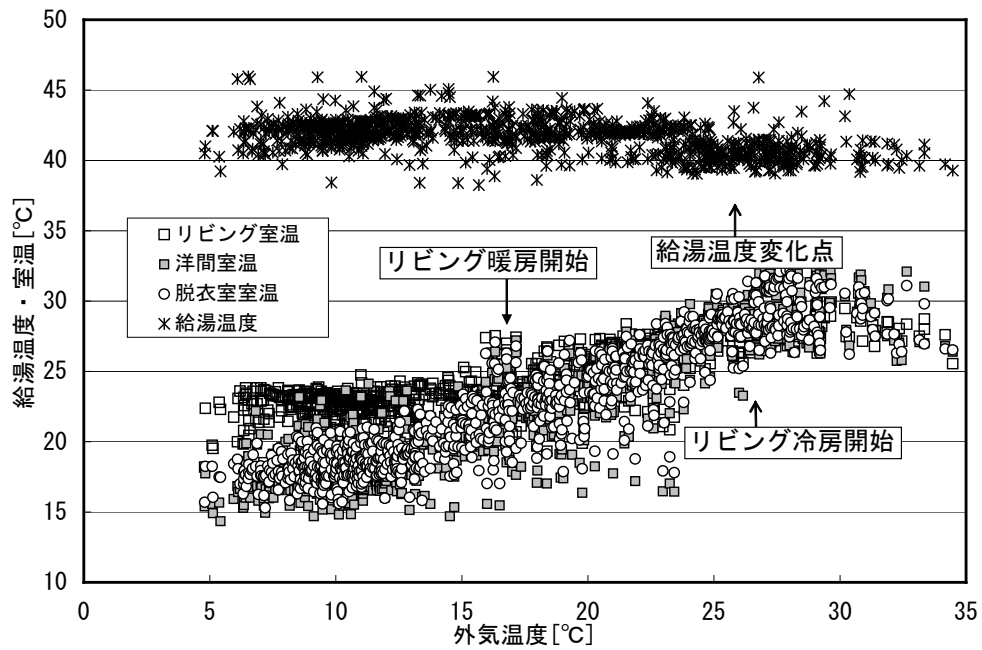


図 5.14 外気温度に対する給湯温度・室内温度の関係 (モニター 06 (集合))

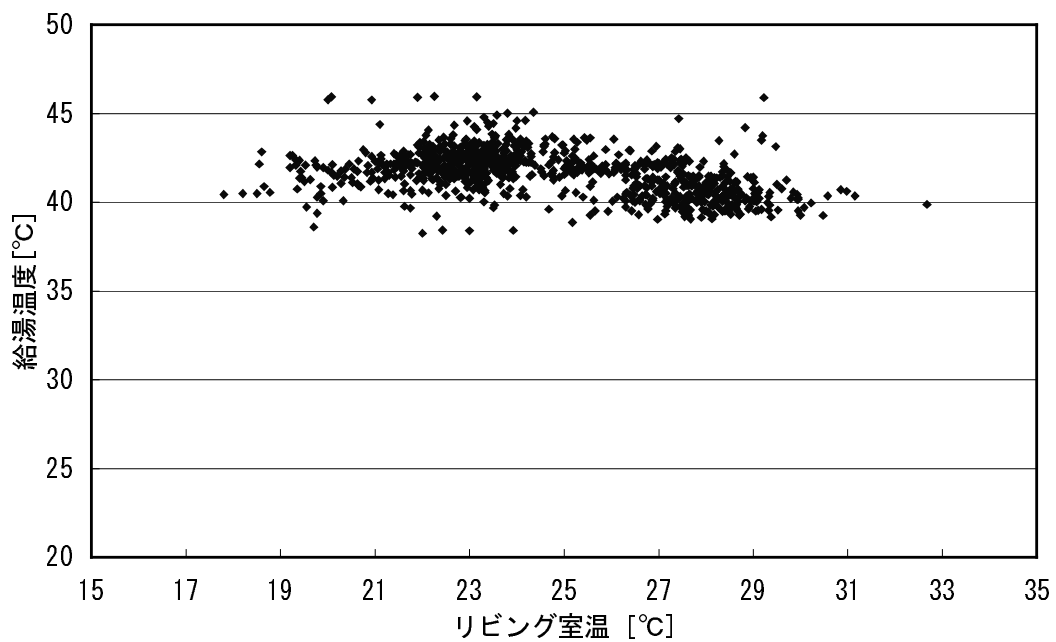


図 5.15 給湯温度・暖房室温の関係 (モニター 06)

冬期に、暖房をしていない洗面所の室温は外気温より数度高い程度であるが、リビングの室温は外気温より 10 ほど高い。しかし、集合住宅でのリビング室温は外気温が低いときでも 24 程度あったことと較べると、戸建住宅に転居してからは 20 以下の場合もあり、室温は低下したといえる。

給湯温度に着目すると、冬期おける給湯温度は 44 近辺である。これは、集合住宅での冬期の給湯温度 42 よりも 2 程度高い。また外気温が 25 (2008 年 5 月末) 以上になると、給湯温度は下がりはじめている。

(5) 外気温・室温と給湯温度の相関 (戸建)

外気温に対する給湯温度と室内温度の関係を図 5.18 に示す。戸建に転居してからの測定期間は短いが、冬期においては暖房室であるリビングおよび非暖房室である洗面所の室温は集合住宅時のそれらに較べて低く、給湯温度は高めである。

(6) まとめ (戸建)

集合住宅に居住していた時の暖房室温は図 5.15 に示されるように 19 ~ 28 であり、給湯温度は 40 ~ 42 であった。転居後の室温は図 5.19 に示されるように、16 ~ 31 であり、給湯温度は 42 ~ 44 であった。この給湯温度の差は、住宅内の温熱環境の違いが一因となっているものと考えられが、転居により給湯設備も変化しているため、慎重に評価する必要がある。

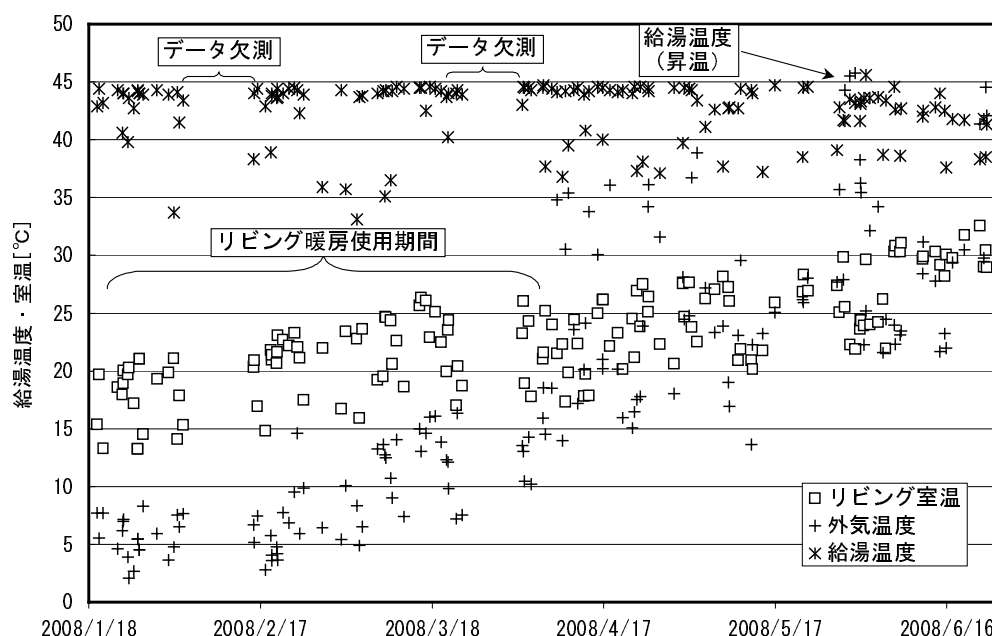


図 5.16 暖冷房室の室温と外気温及び給湯温度の変化 (モニター 06 (戸建))

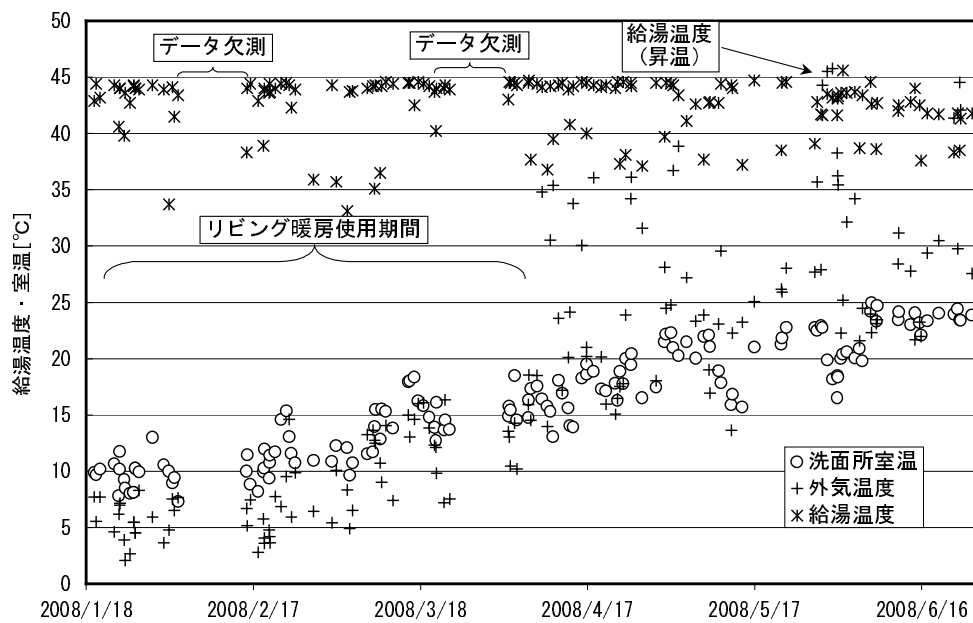


図 5.17 非暖冷房室の室温と外気温及び給湯温度の変化（モニター 06（戸建））

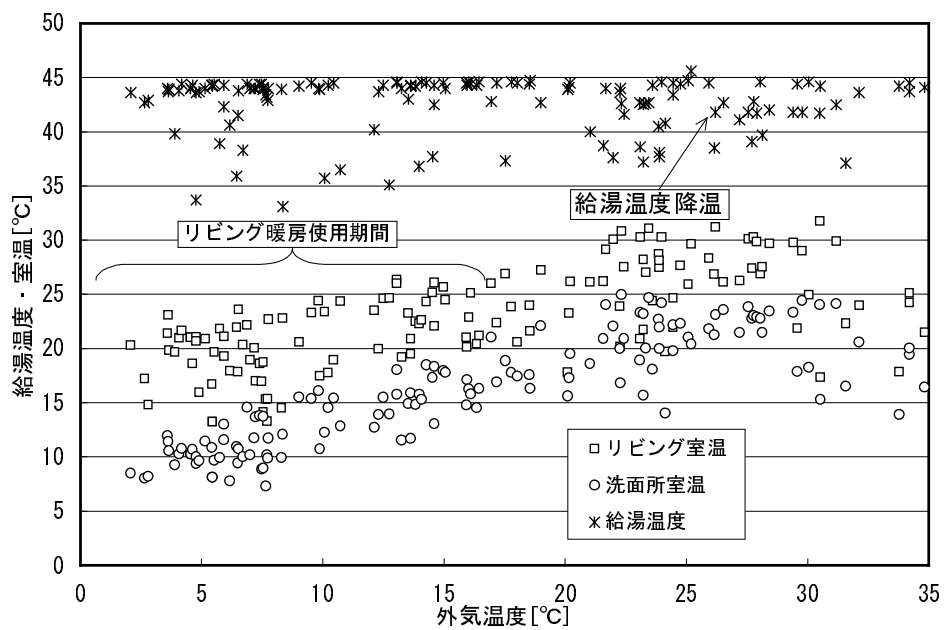


図 5.18 外気温度に対する給湯温度・室内温度の関係（モニター 06（戸建））

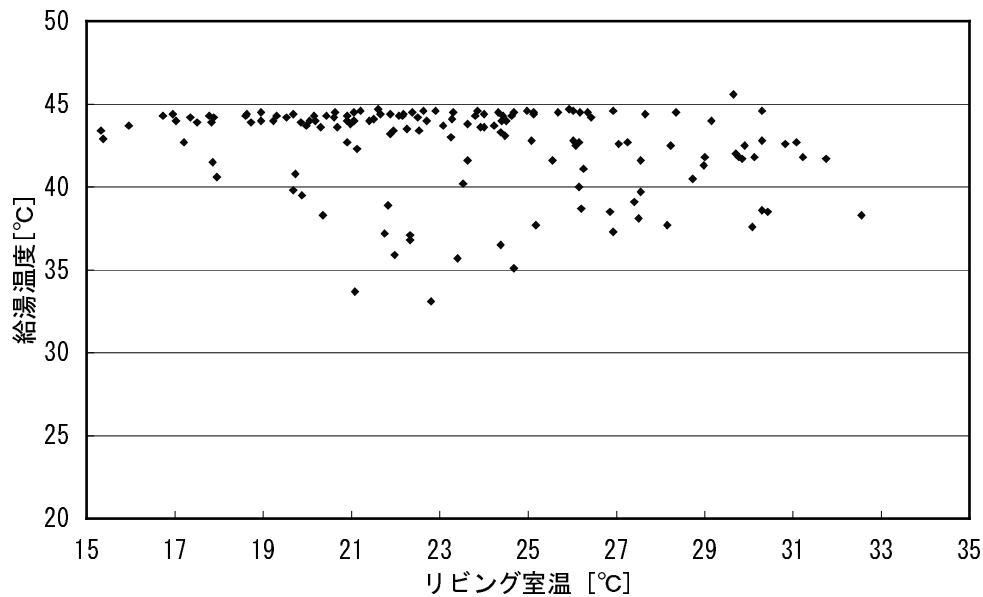


図 5.19 給湯温度・暖房室温の関係（モニター 06(戸建)）

5.2.3 モニター 07 における給湯温度と室温の関係

表 3.2 に示すように、モニター 07 では季節により入浴スタイルが変化しており、2007 年 6 月 25 日から 2007 年 9 月 23 日の間がシャワー入浴であり、その他の時期は、湯張り入浴を行っている。

測定時に行ったアンケートによれば（表 3.5）、冬期の温熱環境については、無暖房時には不満を感じているが、暖房時には満足しており、総合的な快適性でも不満は感じていない。夏期においても、冷房無しでは不満を感じるが、冷房の使用により満足感が得られており、総合的にも不満を感じていない。

(1) 外気温・室温と給湯温度の変化

モニター 07 における外気温と室内温度及び給湯温度の推移を、暖冷房室（リビング・ダイニング）については図 5.20 に、非暖冷房室（脱衣室・2F クローゼット）については図 5.21 に示す。居住者は通常 1 階のリビング・ダイニング（以下 1 FLD）で過ごしており、冷暖房を行っている。脱衣室は冷暖房を行っておらず、洋室もあまり冷暖房は行っていない。また、脱衣室及び 2F クローゼットは冷暖房を行っていない。

夏期は、1FLD の室温は冷房の使用により外気温度よりやや低く、脱衣室の室温は外気温度と同程度である。一方、2 階のクローゼットは外気温度よりも高くなっている。これは、天井や開口部を通しての熱の流入によるものと推測される。

外気温度が 25℃ 以下になる中間期から冬期では、脱衣室及び 2 階のクローゼットの室温は外気温度よりもやや高い状態で推移している。また、脱衣室及び 2 階のクローゼットの室温に較べて 1FLD の室温は高く、ほぼ 2℃ 程度に保たれている。

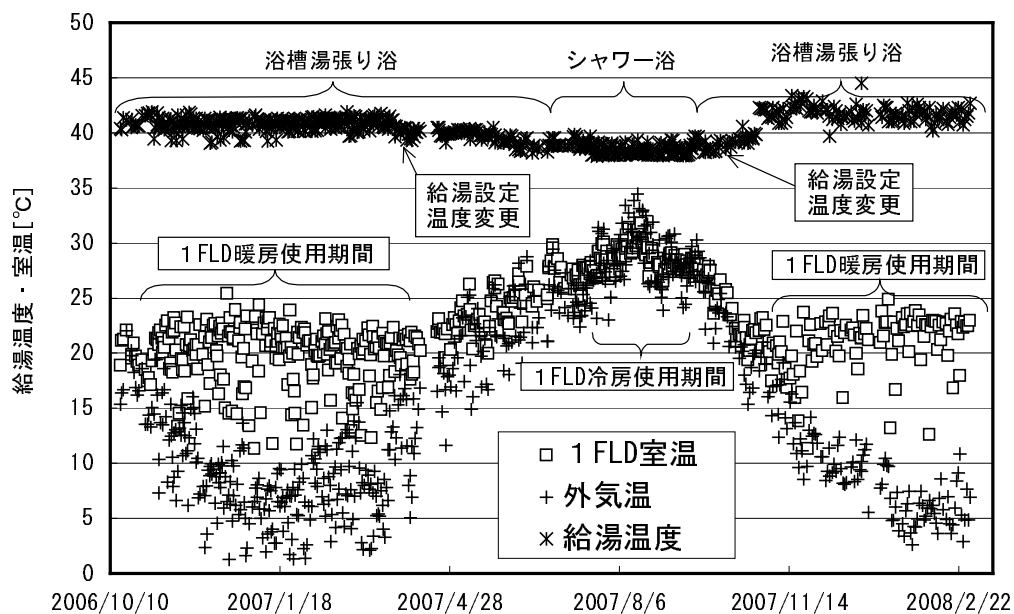


図 5.20 暖冷房室の室温と外気温及び給湯温度の変化（モニター 07）

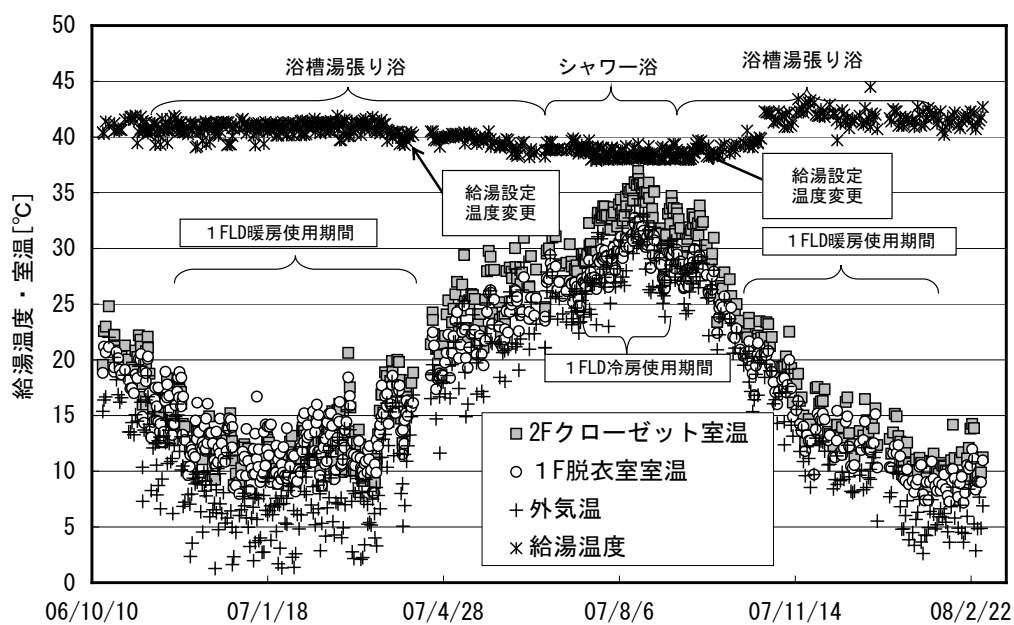


図 5.21 非暖冷房室の室温と外気温及び給湯温度の変化（モニター 07）

(2) 入浴スタイルと給湯温度の変化

給湯温度は、2006 年 10 月から 2007 年 3 月下旬までは 40 ～ 42 であった。2007 年 3 月下旬から給湯温度は下がり始め、シャワー浴が主となる 7 月 3 日までに 39 まで低下している。また、シャワー浴が主となる 2007 年 6 月 25 日～9 月 23 日の間は 38 程度である。シャワー浴から湯張り入浴に切り替わってからもしばらくは給湯温度は 38 程度であるが、外気温度が 25 より低くなる 10 月初旬以降給湯温度は徐々に高くなり、最終的には 42 程度になった。

(3) 外気温・室温と給湯温度の変化

外気温に対する給湯温度と室内温度の関係を図 5.22 に示す。非暖冷房室である脱衣室の室温は外気温に追従し、外気温の低下により室温も同程度まで低下している。一方 1 FLD の室温は、外気の温度が 20 を下回っても暖房の使用により 22～24 近辺を保っており、脱衣室よりも 10 程度高い。

給湯温度についてみると、外気温度が 25 より高い時には、38 程度である。外気温度が 25 から 18 に低下するにつれて、給湯温度は 38 から 42 まで上昇している。なお、外気温度が 10 より低下すると給湯温度は 2 程低下して 40 となっているが、これは 2006 年末の冬期における給湯温度設定の値（40～41）と、2007 年末の冬期における給湯温度設定値（41～42）の違いに起因するものと推測され、外気温の低下に給湯温度測定が影響された訳ではない。

(4) まとめ

図 5.23 の給湯温度と暖房室温度を示されるように、モニター 07 では、年間を通じてリビング内の温度環境は 22～30 程度になっており、シャワー浴が主の夏期には 38 近辺の給湯温度が選択され、湯張り浴が主の冬期は 42 の給湯温度が選択されている。

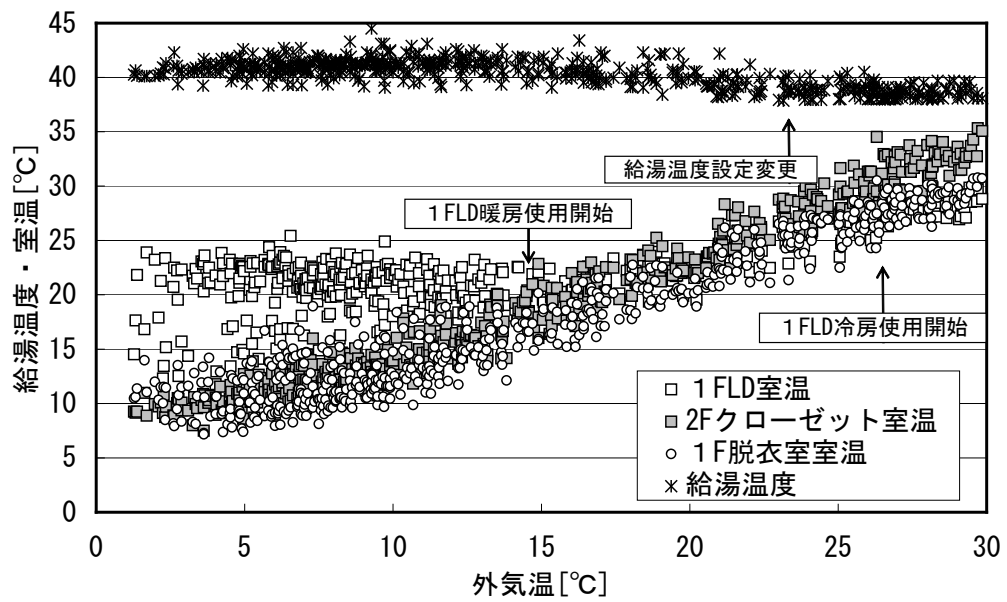


図 5.22 外気温度に対する給湯温度・室内温度の関係 (モニター 07)

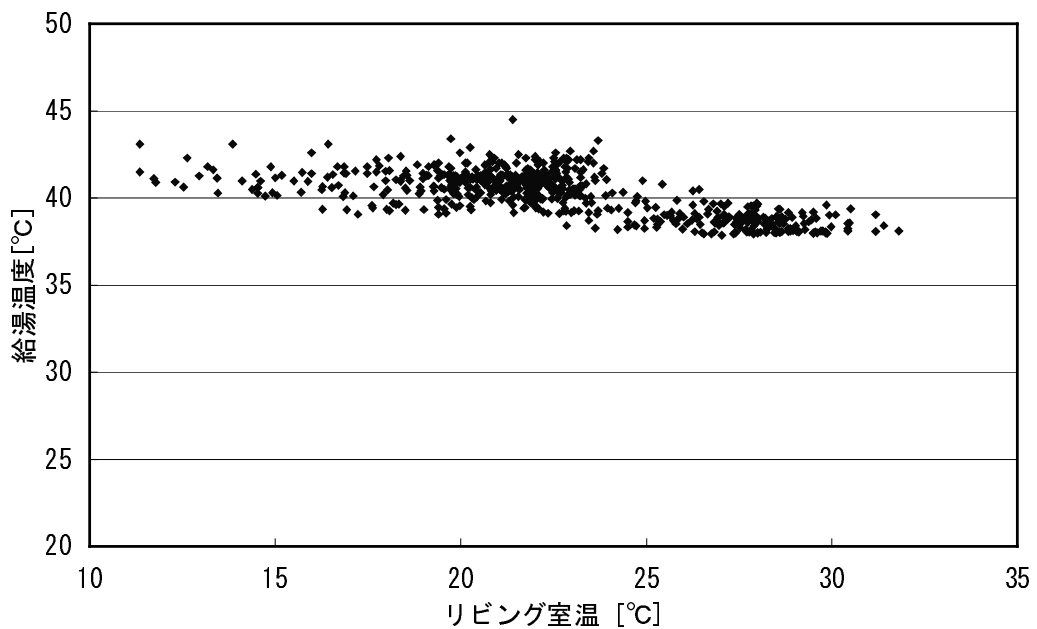


図 5.23 給湯温度・暖房室温の関係 (モニター 07)

5.2.4 モニター 08 における給湯温度と室温の関係

表 3.2 に示すように、モニター 08 は、年間を通じてシャワー浴を基本とし、数日毎に湯張り入浴を行う住宅である。測定時に行ったアンケートによれば（表 3.5）、冬期の温熱環境については、無暖房時にも暖房時にも満足していると回答しており、総合的な快適性でも不満は感じていない。夏期においては、無冷房下では不満を感じるが、冷房の使用により満足感が得られており、総合的にも不満を感じていない。

(1) 外気温・室温と給湯温度の変化

モニター 08 における外気温と室内温度及び給湯温度の推移を、暖冷房室（リビング）については図 5.24 に、非暖冷房室（脱衣室）については図 5.25 に示す。通常モニターはリビングにおいて過ごしており、冷暖房も行っている。脱衣室は冷暖房を行っていない。

2008 年 6 月から 8 月初旬にかけての温熱環境は、測定器の不具合で測定できていない。8 月中旬以降で外気温度が 35 を超えていても、リビング、脱衣室の室温は 27 程度であった。この住宅は他の住宅と異なり、シャワー等の給湯温度と、湯張りの温度の設定が大きく異なる。湯張りに使用した給湯温度を図 5.26 に、シャワー等の給湯温度を図 5.27 に示す。浴槽湯張りの温度は測定を開始した 3 月ごろは 40 を超えるときもあったが、夏期になると 40 を下回り、9 月以降には再び 40 を超えている。一方、シャワー等の給湯温度は年間を通じてほぼ 37.8 程度であった。

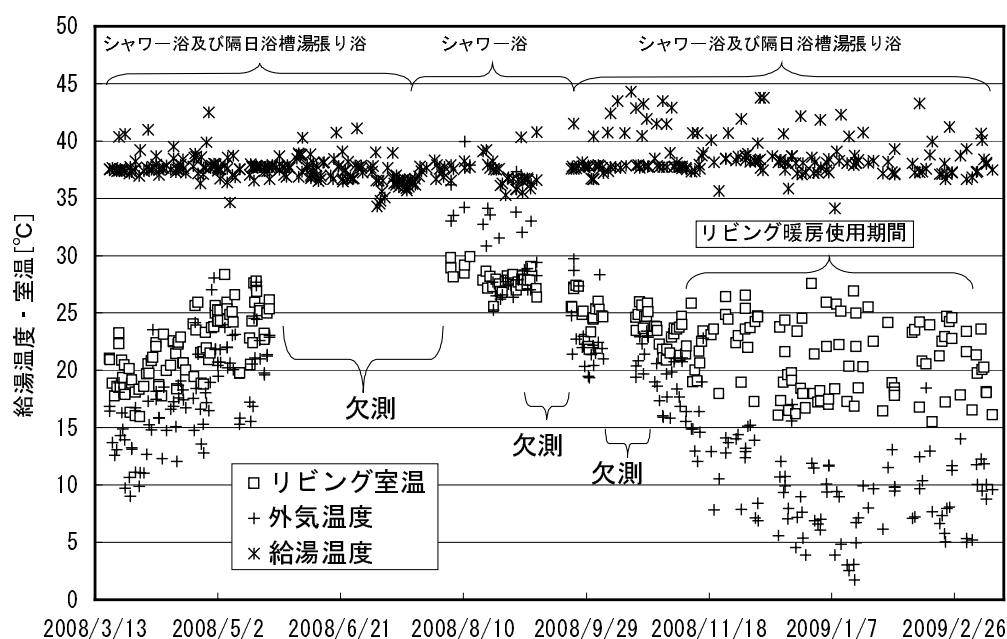


図 5.24 暖冷房室の室温と外気温及び給湯温度の変化（モニター 08）

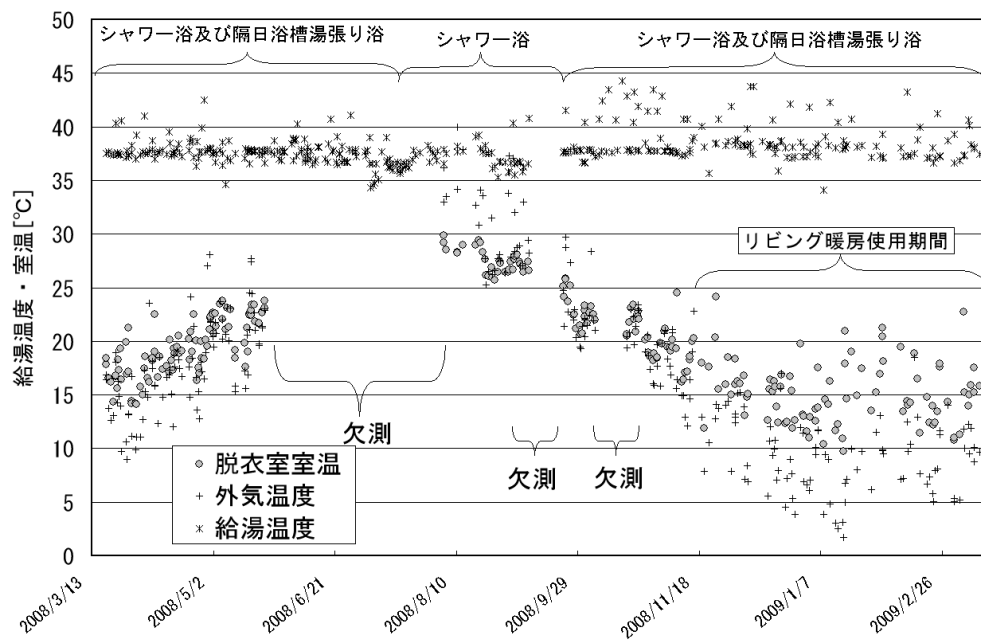


図 5.25 非暖冷房室の室温と外気温及び給湯温度の変化（モニター 08）

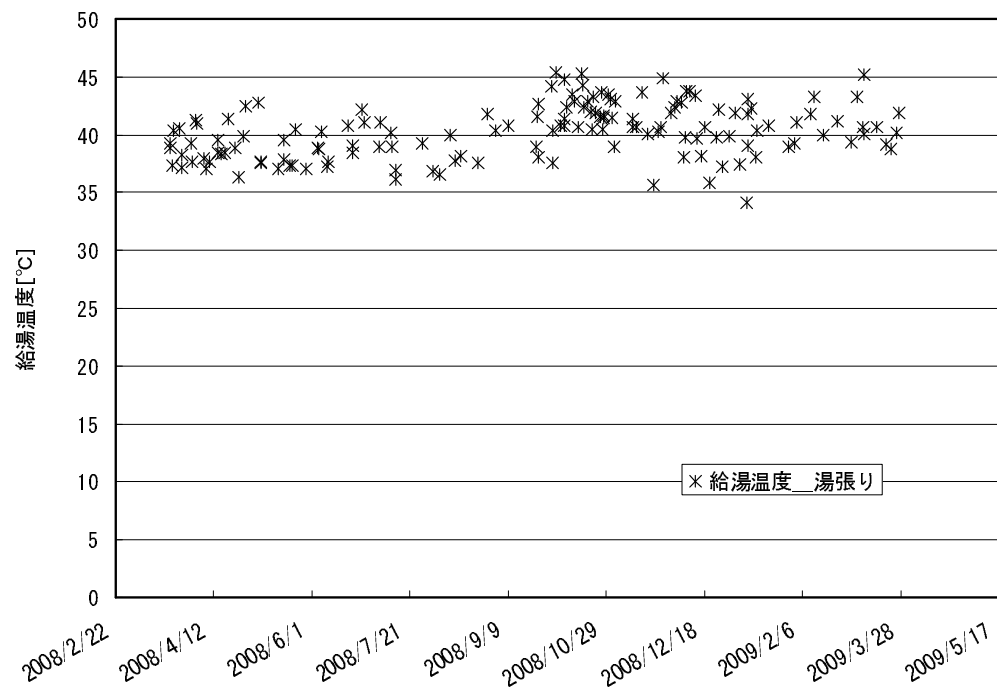


図 5.26 浴槽湯張り給湯温度の季節推移（モニター 08）

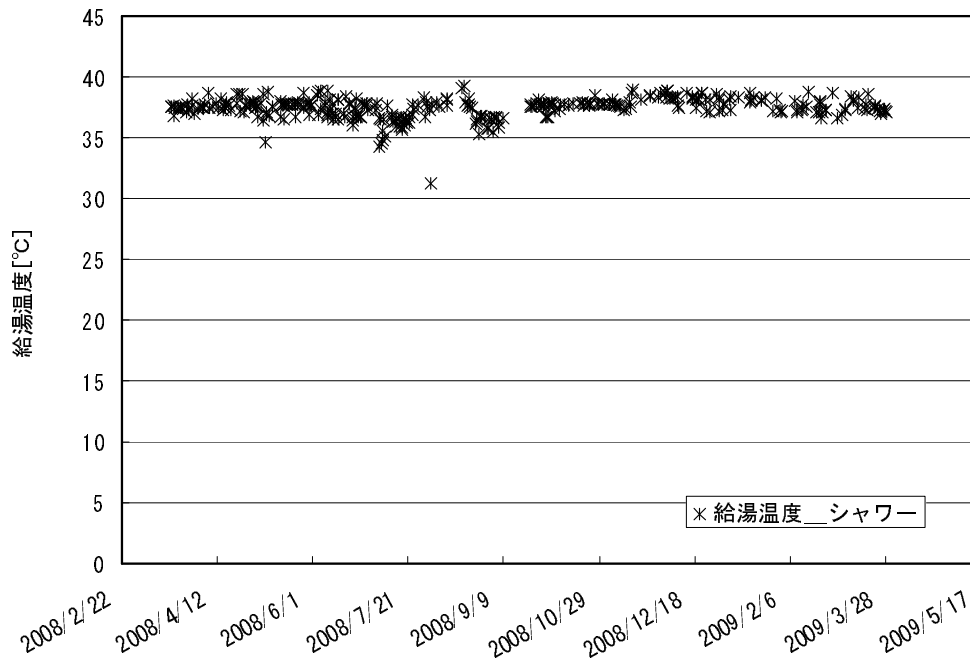


図 5.27 シャワー等の給湯温度の季節推移（モニター 08）

(2) 外気温・室温と給湯温度の変化

欠測が少ない 2008 年 9 月以降の給湯温度と室内の温熱環境に着目すると、リビングの温度は外気温が低下しても 23 から 27 程度に保たれており、これは他の住宅よりも 2～4 程度高い。また、脱衣室は中間期は外気温と同程度の温度であるが、リビング暖房期間中は、15～20 程度に保たれている。

(3) 外気温・室温と給湯温度の変化

外気温に対する給湯温度と室内温度の関係を図 5.28 に示す。非暖冷房室である脱衣室では、外気温よりも 5 程度高めで室温が低下している。またリビングの室温は、外気の温度が 20 を下回っても 23～27 近辺を保っている。

図 5.26 及び図 5.27 に示すように、シャワー等の給湯温度は外気温が低下しても、あまり変動しないが、浴槽湯張り用の給湯温度は、外気温が 25 を下回る近辺から上昇する傾向にあり、40～42 近辺の値となっている。

(4) まとめ

図 5.29 の給湯温度と暖房室温度を示されるように、モニター 08 では年間を通じてリビングの温度は 23～28 程度であり、他の住宅に較べて冬期における室温は高めである。また、シャワー等の用途の給湯温度は年間を通して 38 程度で一定であるが、湯張り用給湯温度は 37 から 44 近辺の値となっている。

なお、聞き取り調査によると、同居している子らはシャワー浴を好むが、高齢の親は湯張り入浴によって温まるのを好む傾向にあるとのことであった。子と親の入浴に対する要求が異なるため、シャワー浴を好む子らは年間を通して 38℃ の給湯温度で入浴し、湯張り浴を好む高齢の両親はそれよりも高い温度での入浴をおこなっているものと推測される。

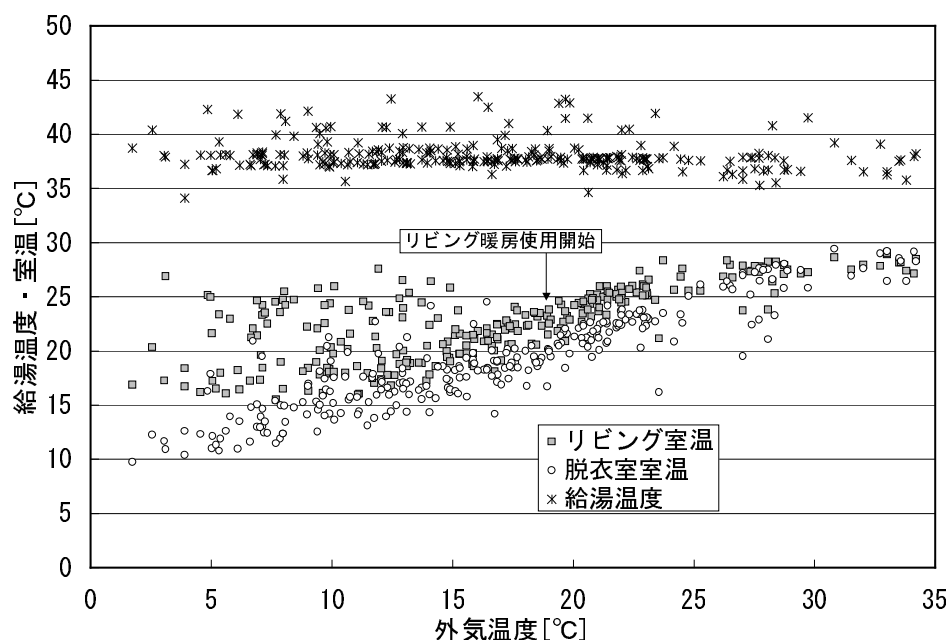


図 5.28 外気温度に対する給湯温度・室内温度の関係 (モニター 08)

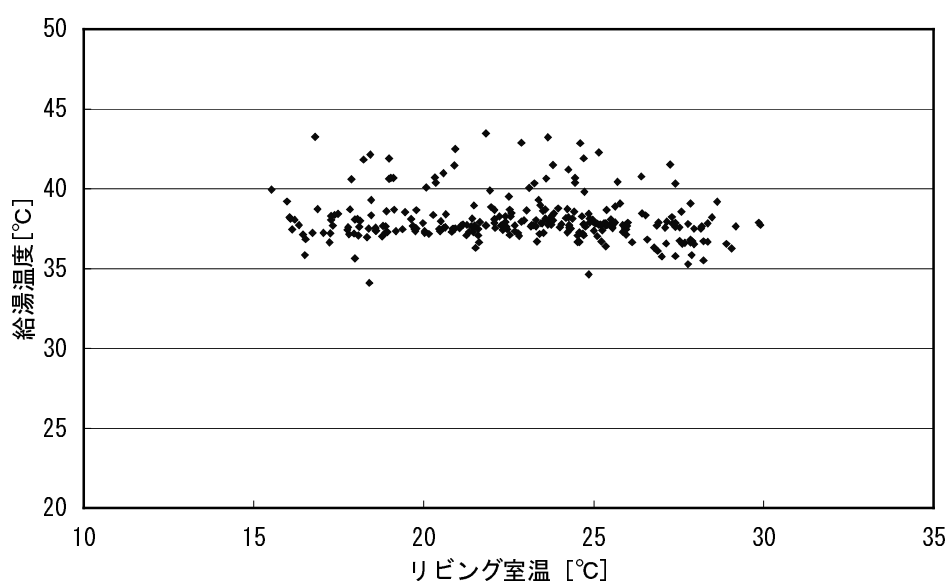


図 5.29 給湯温度・暖房室温の関係 (モニター 08)

5.2.5 モニター 09 における給湯温度と室温の関係

表 3.2 に示すように、モニター 09 では、季節により入浴スタイルが変化しており、7 月 4 日～9 月 26 日 (2008 年) には主としてシャワー浴を行い (7 月 25 日及び 8 月 4 日、7 日、15 日は浴槽湯張り) その他の時期は湯張り入浴を行っている。

測定時に行ったアンケートによれば (表 3.5) 冬期には無暖房時・暖房時ともに温熱環境に不満はなく、総合的な快適性でも不満は感じていない。夏期においても、無冷房時・冷房時ともに不満はなく、総合的にも不満を感じていない。

(1) 外気温・室温と給湯温度の変化

モニター 09 における外気温と室内温度及び給湯温度の推移を、暖冷房室 (1F リビング) については図 5.30 に、非暖冷房室 (2F 脱衣室) については図 5.31 に示す。モニターは通常 1F リビングで過ごしており、冷暖房も行っている。また、2F 脱衣室は冷暖房を行っていない。

夏期に外気温度が上昇し 30 を超えても、リビングの室温は冷房の使用により外気温度より低く、30 以下となっている。一方、2F 脱衣室の室温は外気温度と同程度かやや高い。給湯温度は 38 である。

外気温度が 25 以下になる 10 月中旬から冬期にかけて外気温度の低下に伴い、2F 脱衣室の室温は外気温度よりやや高い状態で低下している。また、2F 脱衣室の室温に較べて 1F リビングの室温は高く、20 ～ 22 程度に保たれている。給湯温度は 2008 年 9 月下旬から上がり始め、11 月中旬には 41.5 程度に達し、その後は 41.5 程度で推移している。

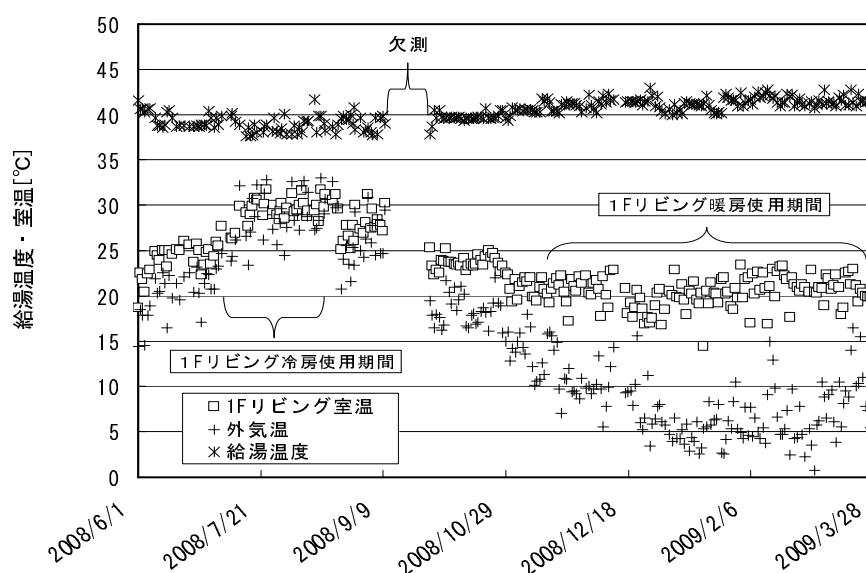


図 5.30 暖冷房室の室温と外気温及び給湯温度の変化 (モニター 09)

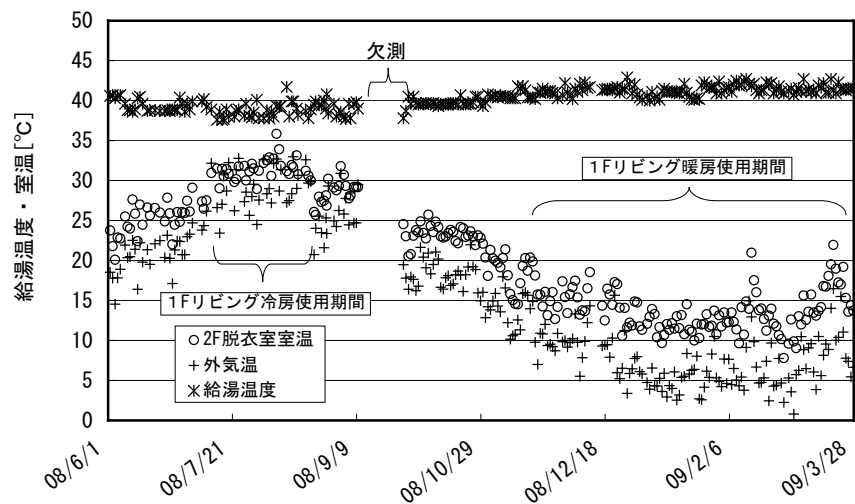


図 5.31 非暖冷房室の室温と外気温及び給湯温度の変化（モニター 09）

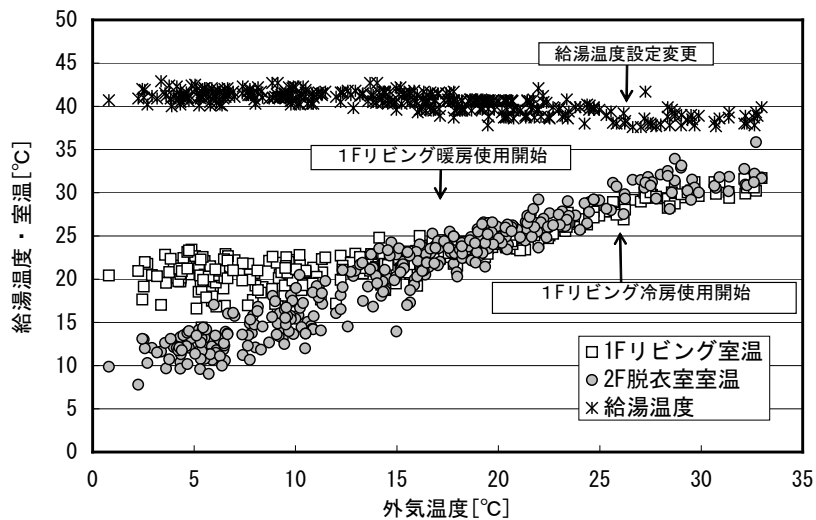


図 5.32 外気温度に対する給湯温度・室内温度の関係（モニター 09）

(2) 外気温・室温と給湯温度の変化

外気温度に対する給湯温度と室内温度の関係を図 5.32 に示す。外気温度が 25 より高いときは、2 F 脱衣室及び 1 F リビングは同程度の温度になっている。気温の低下にともない、非暖冷房室である 2 F 脱衣室の室温は外気温度と同程度に低下しているが、リビングの室温は外気の温度が 15 を下回っても 22～24 程度を保っている。

給湯温度は、外気温度が 25 より高い時には、38 程度であり、外気温度が 25 から 20 に低下すると 38 から 42 まで上昇する。

(3) まとめ

図 5.33 の給湯温度と暖房室温に示されるように、モニター 09 では年間を通じてリビング内の温度は 20 から 30 程度になっている。シャワー浴を行っている夏期には 38 近辺の給湯温度が選択され、湯張り浴が主たる入浴である冬期には 42 の給湯温度が選択されている。

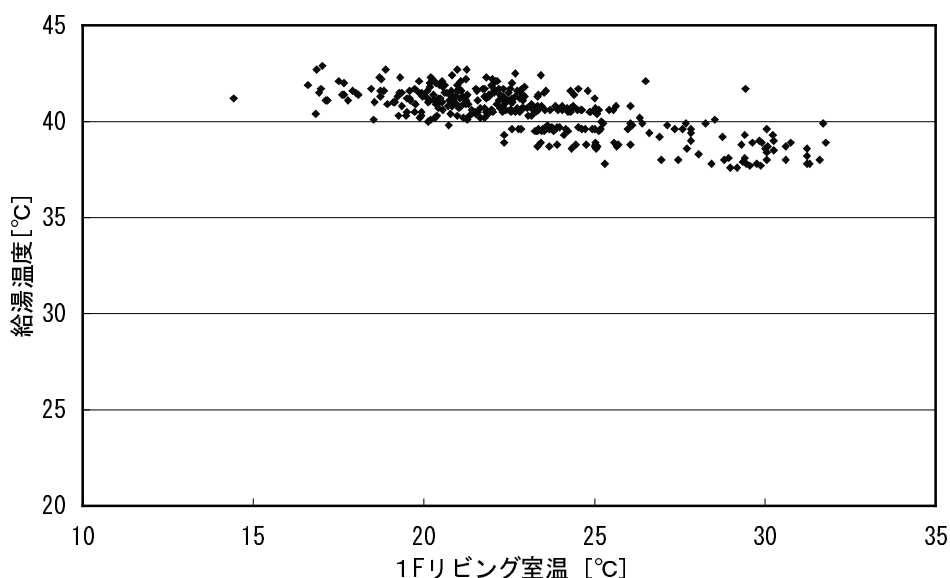


図 5.33 給湯温度・暖房室温の関係（モニター 09）

5.2.6 モニター 10 における給湯温度と室温の関係

表 3.2 に示すように、モニター 10 では、年間を通じて浴槽湯張り入浴を行っている。測定時に行ったアンケートによれば（表 3.5）、冬期には、無暖房時・暖房時ともに温熱環境に不満はなく、総合的な快適性でも不満は感じていない。しかし、夏期においては、無冷房時に不満があり総合的にも不満を感じている。

(1) 外気温・室温と給湯温度の変化

モニター 10 における外気温と室内温度及び給湯温度の推移を、暖冷房室（リビング・ダイニング）については図 5.34 に、非暖冷房室（脱衣室・2F 物置）については図 5.35 に示す。通常モニターは LD（リビング・ダイニング）で過ごしており、冷暖房も行っている。また、脱衣室及び 2F 物置は冷暖房を行っていない。

6 月下旬に外気温度が上昇すると、LD、2F 物置、脱衣室の室温は外気温と同程度の値で推移している。ただ、外気温度が 30 を超えるあたりで、冷房の使用により LD の室温は外気温よりやや低い 30 以下となっている。脱衣室及び 2F 物置の室温は、外気温と同程度かやや高い。

他のモニター宅では、給湯温度が上昇し始めるときの外気温は 20 ～ 25 程度となっている。一方、本モニター宅においては、外気温が 30 以下になる 9 月初旬から、給湯温度が高くなりはじめ、外気温が 25 の時（2008 年 11 月初旬）に給湯温度が 41.7 程度に達し、この温度が 2009 年 3 月まで続いている。

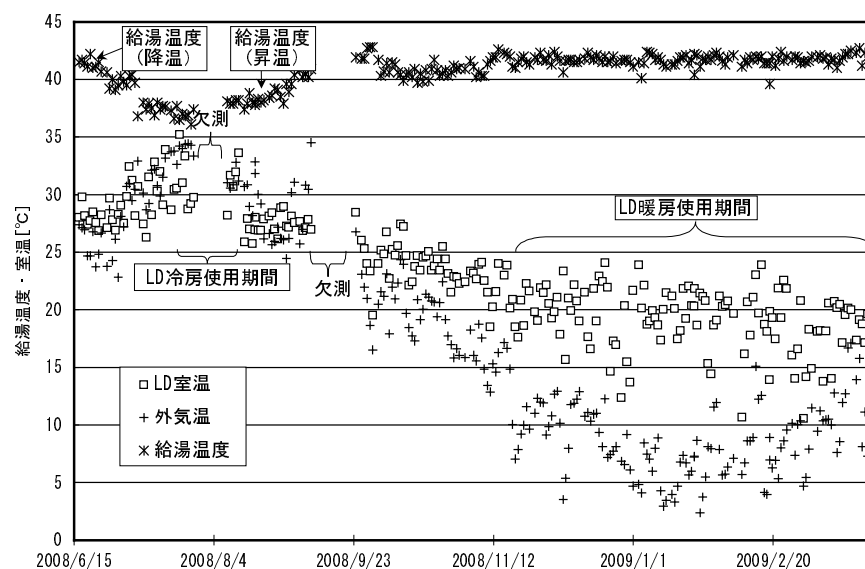


図 5.34 暖冷房室の室温と外気温及び給湯温度の変化（モニター 10）

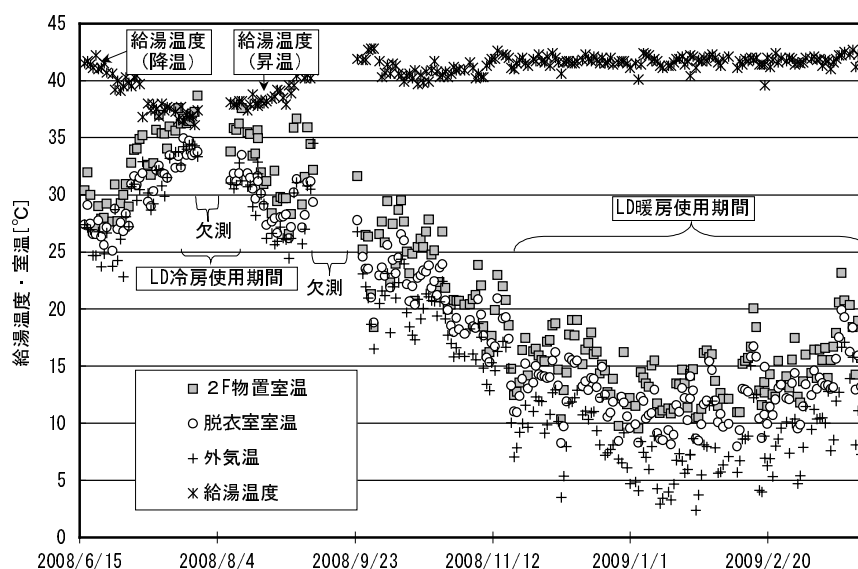


図 5.35 非暖冷房室の室温と外気温及び給湯温度の変化（モニター 10）

(2) 外気温・室温と給湯温度の変化

外気温に対する給湯温度と室内温度の関係を図 5.36 に示す。外気温が 23 より高いときは、2 F 物置、脱衣室及び LD の室温は同程度の温度になっているが、気温の低下に伴い、非暖冷房室である脱衣室及び 2 F 物置の室温は、外気温と同程度に低下している。一方リビングの室温は、外気の温度が 15 を下回っても 22 近辺を保っている。給湯温度に関しては、外気温が 30 より高い時には 38 程度である。外気温が 30 から 25 に低下するにつれて、給湯温度は 38 から 41.7 まで上昇している。

(3) まとめ

図 5.37 の給湯温度と暖房室温に示されるように、モニター 10 では、年間を通じて LD 内の室温は 20 から 30 程度になっていること、夏期には 38 近辺の給湯温度が、冬期には 41.7 の給湯温度が選択されていることが分かる。

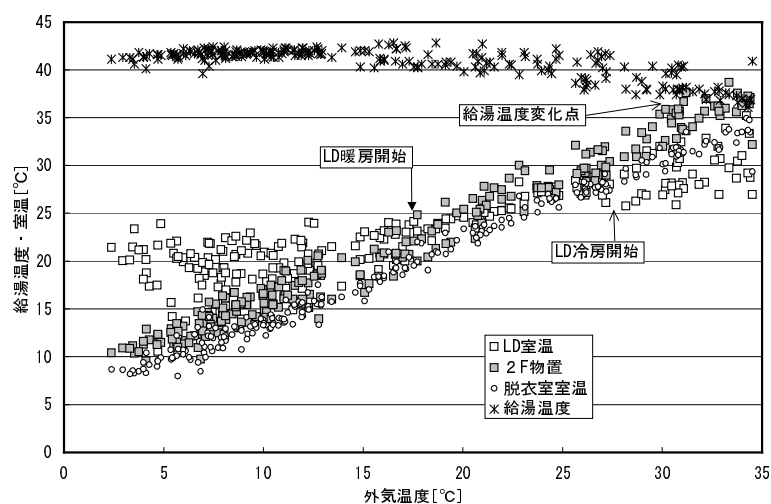


図 5.36 外気温に対する給湯温度・室内温度の関係（モニター 10）

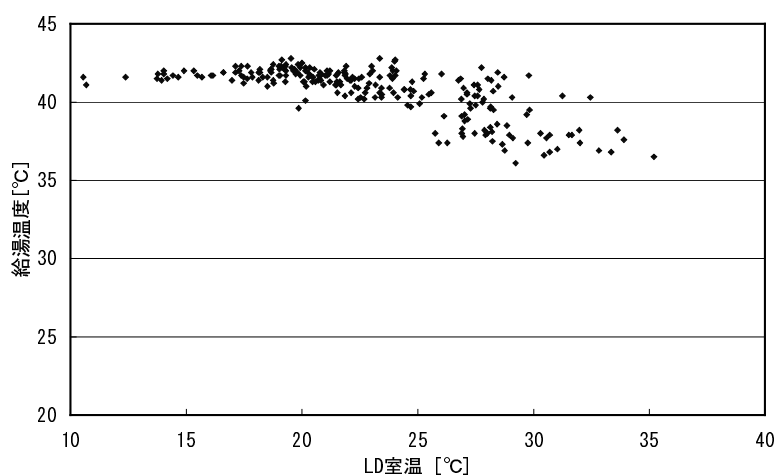


図 5.37 給湯温度・暖房室温の関係（モニター 10）

5.3 考察

6軒のモニター宅を対象に、給湯温度と入浴時の暖房室・非暖房室・外気温度との関係について分析を行い、冬期の温熱環境への満足感と給湯温度の関係について以下のことを明らかにした。

5.3.1 冬期の温熱環境に不満がない住宅における給湯温度と室温の関係

季節によって入浴スタイルに変更のあるモニター 01 の場合、給湯温度が冬期・中間期の 37.5 から夏期の 38.7 に変化するのは、外気温が 30 を超え始めた頃である。夏期の給湯温度から冬期・中間期の給湯温度に戻るのは、外気温が 29 より低くなり始めたころである。また、入浴スタイルが湯張り浴中心からシャワー浴へと切り替わるのは外気温が 25 を超えるあたりであるが、入浴スタイルの変化に伴う給湯温度の変化はない。

モニター 01 では、中間期から冬期、冬期から中間期への季節変化の際に給湯温度は、他の住宅のように外気温が 20 ～ 27 近辺で徐々に変化するということはない。これは、モニター 01 では暖房に対する不満はないため、給湯温度を高めて暖まる必要がないためと考えられる。同様の傾向は、冬期の温熱環境に不満のないモニター 07 にも見られた。

シャワー浴を基本とし時折湯張り入浴をおこなうモニター 08 では、冬期の温熱環境については無暖房時及び暖房時とも満足と回答しており、総合的な快適性でも不満は感じていない。夏期においては、無冷房下では不満を感じるが、冷房の使用により満足感が得られており、総合的にも不満を感じていないと回答している。この住宅でも、通常使用されているシャワー浴の給湯温度は、ほぼ安定して 37.8 近辺に設定されている。

年間を通して、湯張り入浴を主とするモニター 10 では、夏期の温熱環境に不満があるが、冬期の温熱環境には不満はない。夏期の外気温度が 30 を超える場合には給湯温度は低下するが、27 以下の場合にはあまり給湯温度の変化はない。

以上のように、冬期の温熱環境に不満がない住宅においては、暖まるために入浴することは少なく、従って冬期において給湯温度を上げていない。これは、平手ら²⁾のアンケートにみられた札幌のような全室暖房を行っている寒冷地において「冬は保温のため」との回答が少ないのと同様の状況と考えられる。

5.3.2 冬期の温熱環境に不満がある住宅における給湯温度と室温の関係

非暖房時や総合的な冬期の温熱環境に不満があるモニター 06 の場合、図 5.14 に示すように外気温度が 20 以下になると暖房を使用しており、また、給湯温度は外気温度が 23 近傍で変化している。同様に、無暖房時の温熱環境に不満があるモニター 07 では、外気温度が 18 の近傍で給湯温度及び暖房室である 1 FLD の室温に上昇が見られる。両モニターとも、室温及び給湯温度を上げることにより外気温度の低下に対応していると考えられる。

なお、モニター 06 では気温の低下による寒さをまず給湯温度の設定を高めることで対応し、モニター 07 では 1 FLD の暖房と給湯温度の両方の設定温度をあげることで対応してい

る。それゆえ、外気温度低下による寒さへの対応を室温と給湯温度で対応しているモニター07に比べ、モニター06は給湯温度を上昇させる時期が早いと推定される。

また、モニター06では、集合住宅時代に比べて戸建住宅に転居してからは、主たる生活空間であるLDの室温が低下している。これが、戸建における給湯温度の設定が2 程高くなっていることに影響していると推測される。

この結果も、やはり、平手ら²⁾のアンケートで冬期の入浴の目的として“冬は保温のため”が多くあげられていることに対応し、冬期の温熱環境に不満がある住宅では、身体を暖めるために入浴することが多いと推測される。

5.3.3 給湯温度低下に伴う給湯消費量削減効果

例えば、モニター06(戸建)において、給湯温度設定を44 から41 に下げた場合、第3章で検討したモニター06(戸建)の冬期代表時期で考えると、日積算給湯使用量は、給湯温度変更前の74.7MJ/Day(平均給水温度7.6)から給湯温度変更後には68MJ/Day へとなり、電力量に直すと1.9kWh/Dayに相当する。

また、このモニター06の断熱性能が 地域における次世代基準に相当で、冬期代表時期の外気温度を8 、暖房面積(図5.38の点線囲った台所及び居間部分)が $24m^2$ とし、暖房に使用するエアコンの成績係数(COP)=5.82、暖房時間を12.8時間、暖房温度の設定を20 から25 にしたと仮定すると、増加する電力使用量は0.71kWh/Dayである。よって給湯使用量の削減効果は、エアコンの設定温度を上げることにより増加した電力量よりも大きく、省エネ効果が見込めると考えられる。

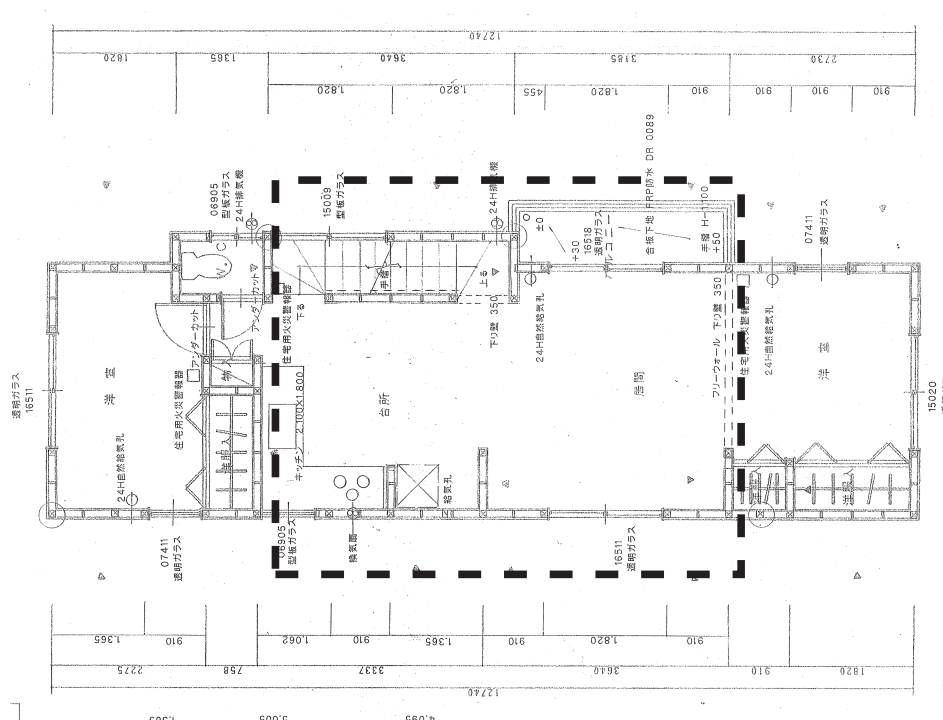


図 5.38 (モニター06(戸建)2F平面図)

5.4 第5章のまとめ

本章では、室内の温熱環境の改善による冬場の給湯温度を下げることにより、冬期の給湯用エネルギー消費削減する可能性を探るために、室内温熱環境と給湯温度の相関について、特に居住者の滞在時間が長いリビングの温熱環境と外気温度及び給湯温度の相関について分析を行った。

その結果、室内温熱環境にそれ程不満がない住宅においては冬期と夏期の給湯温度の変化は小さく、逆に室内温熱環境に不満がある住宅においては冬期と夏期の給湯温度の変化が大きいことを明らかにした。

この結果は、平手ら²⁾のアンケートにおいて冬期の入浴の目的として“冬は保温のため”が多くあげられているように、今回の測定住宅の中で冬期の温熱環境に不満がある住宅では、身体を暖めるために冬期の給湯温度を高めにして入浴しているものと考えられる。逆に、冬期の温熱環境に不満がない住宅において、身体を暖めるために入浴することは少ないので、年間を通して給湯温度の変動が小さいことは、同アンケートで札幌のような全室暖房を行っている寒冷地の“冬は保温のため”との回答が少ないことに対応していると考えられる。

よって、室内温熱環境の改善により冬期の給湯温度を低くし、冬期の給湯エネルギー消費を削減できる可能性があり、例えば全室暖房により室内環境の快適性を増すことで、給湯温度の制御（例えば、42℃入浴のところを、夏期と同じ39℃程度の給湯温度で入浴するなど）可能性があるといえる。

参考文献

- 1) 高橋裕樹, 前真之, 鎌田元康:冬期入浴時の浴室内暖房利用が湯消費量と消費エネルギーに与える影響についての研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州), D-1, pp.577-578, 2007.8
- 2) 平手小太郎, 飯尾昭彦, 鎌田元康, 浅野良晴, 石渡博, 紀谷文樹, 桑沢保夫, 坊垣和明, 市川憲良, 田中正敏:住宅用給湯設備の使用感に関するアンケート調査 第2報 - 浴室周りの調査および湯使用時の要求水準, 空気調和・衛生工学会論文集, No.52, pp.71-80, 1993年6月

第6章 結言

本論文では、住宅分野におけるエネルギー消費の削減手法を目的として、関西地区の住宅を中心に電力及びガス消費計測を行い、エネルギー消費の現状について分析した。

電力の消費に関しては、居住者の生活スタイルが与える影響の観点から分析を行い、昼間の在宅者が電力の消費に与える影響についてまとめた。住宅内のエネルギー消費で大きな割合を占める給湯については、実測と共に給湯使用量予測手法の提案を行った。また、住宅の室内外の温熱環境と給湯使用の相関性について分析し、住宅内の温熱環境の改善による給湯消費の削減手法の提案を行った。

第1章では、住宅のエネルギー消費の実態調査、給湯使用実態調査、給湯負荷予測手法等に関する従来の研究についてレビューを行った。また、給湯負荷削減の観点より、既往のアンケート結果より室内の温熱環境と入浴行為との間の相関について論じた。

第2章では、関西地区の住宅においてエネルギー消費測定を行い、用途別（給湯、暖冷房・換気、厨房、娯楽・情報、照明、冷蔵庫、家事・衛生及びその他）に分類した。その結果、大部分の住宅において、給湯用エネルギー消費が最も多く、これに暖冷房・換気、照明、冷蔵庫のエネルギー消費が続いていることがわかった。

測定と同時に行ったアンケート結果から、電気使用に関しては居住者の省エネ協力が得やすいことがわかった。そこで、住宅による断熱・気密性能の違いが電力消費に与える影響が少ないと考えられる中間期の電力消費に着目し、住宅及び家電性能の向上以外の電力消費削減手法について検討した。床面積や家族構成で規格化した電力消費量が多い住宅と少ない住宅を抽出し、両住戸間の電力消費状況の差異を分析した結果、居住者のライフスタイル及び省エネへの意識が電力消費に与える影響の大きいことが分かった。

この結果から、住宅分野における電気使用量の削減には、1)採光を考慮した住宅設計 2)ライフスタイルに応じた適切な電気器具の選定 3)家電機器の待機時の電力の削減などの建物・家電設備面での省エネ対策及び意識付けが重要であることを示した。

また、実測結果からは、給湯エネルギー消費の削減はその取り組み効果が大きい、アンケート結果からは、給湯に関する省エネ行動の難しいことが分かった。そこで、第3章においては給湯消費の現状を調査し、第4章ではその結果をもとに高効率給湯器で必要とされる翌日の給湯使用量の予測式の提案、第5章では室内の温熱環境の改善による自発的な給湯消費エネルギー削減手法の可能性について検討を行った。

まず、第3章では、第2章の住宅内のエネルギー消費量の中で最も大きな割合を占めた給湯分野のエネルギー消費の実態の詳細を把握するために、関西を中心とした10軒の住宅に

において給湯関係の実測を行った。その結果、入浴スタイルを大別すると、以下の3通りに分類できることがわかった。

1. 年間を通して浴槽湯張り入浴をする住宅
2. 季節によりシャワー又は浴槽湯張りどちらか一方で入浴をする住宅
3. 年間を通してシャワー浴を基本とし、数日毎に浴槽湯張り入浴をする住宅

また、年間を通して湯張り入浴をする住宅でも、夏期と冬期で給湯使用水量に差がない住宅と差がある住宅があった。夏期と冬期で給湯使用水量の差が大きい住宅は冬期にシャワーを多用する住宅であり、夏期と冬期で給湯使用水量の差が少ない住宅は夏期も冬期もシャワーの使用状況に変化がない住宅であることがわかった。

この冬期のシャワーの使用状況の差を分析したところ、冬期にシャワーを“ふんだん”に使用すると回答した住宅では、冬期における無暖房時の温熱環境への不満が多いことがわかった。よって、この冬期の温熱環境への不満を解消し、冬期のシャワーの多用を抑制できれば、通年で湯張り入浴の住宅においても給湯使用量の削減に繋がるものと考えられる。

積算給湯使用量と日積算電気使用量をもとにした熱電比は、夏期においては、多くの場合給水温度の上昇と給湯温度の低下に伴い給湯使用量は減少し、エアコン等の使用により電力使用量は増加していた。冬期は逆に、給水温度の低下と給湯温度の上昇に伴い給湯使用量が増加する一方、電力使用量は主たる暖房に電気式エアコンを多用している場合には大きく増加するが、コタツや灯油ファンヒータ等を使用している住宅ではあまり増加していなかった。このため、熱電比は、主たる暖房熱源が電気式エアコンでない住宅では夏期に小さく冬期に大きくなる傾向にあり、冬期における主たる暖房熱源が電気式エアコンかその他の熱源かにより、熱電比は大きく異なった。よって、住宅用コージェネレーションシステムにより冬期の給湯を行う場合には、同時に発生する電力の利用を考慮すると暖房は電気熱源によるものが望ましいといえる。

第3章では、年間を通じて入浴スタイルの変化の有無に着目した分類を行ったが、第4章では給湯使用量の予測の観点から短期間の入浴スタイルの変化の有無及び昼間の給湯使用の曜日依存性の有無で以下の3種類に再度分離した。

1. 夜間は季節ごとに湯張り又はシャワー浴を主とした入浴を行い、日中の給湯使用に曜日依存性のない住宅
2. 夜間は季節ごとに湯張り又はシャワー浴を主とした入浴を行い、日中の給湯使用に曜日依存性のある住宅
3. 年間を通じてシャワー浴を基本とし、数日毎に湯張り入浴を行う住宅

また、給湯の日積算値を通常の午前0時0分を基準として算出するのではなく、深夜帰宅などの居住者のライフスタイルを考慮して、例えば午前4時を起点とすることにより日積算給湯使用量の変化の幅を小さくできることを示した。

以上の検討から、まず夜間は季節ごとに湯張り又はシャワー浴を主とした入浴を行い、日中に周期的給湯使用のない住宅の場合、日積算給湯使用量に含まれる季節トレンドは、1年分の日積算給湯使用量の測定値をもとに算出したフーリエ級数による近似式で取り除き、この季節トレンドを取り除いた日積算給湯使用量を1次又は2次の自己回帰モデルにより予測することにより、給湯使用量を予測できることを示した。

次に、夜間は季節ごとに湯張り又はシャワー浴を主とした入浴を行い、日中に周期的給湯使用がある住宅の場合については、周期性がある日中と夜間の給湯使用に分けてモデルを作成した。この日中の給湯消費に関しては、季節トレンド成分のフーリエ級数による近似及び曜日に関する使用情報をもとに給湯使用量の予測式により、日中の給湯使用量を予測できることを示した。夜間の給湯使用量に関しては、“夜間は季節ごとに湯張り又はシャワー浴を主とした入浴を行い、日中に周期的給湯使用のない住宅”の場合と同様の方法で予測式を構成した。この予測手法で夜間の給湯使用量を予測できることを示した。

最後に、年間を通じてシャワー浴を基本とし、数日毎に湯張り入浴を行う住宅の場合、モニター04のような湯張り浴の日とシャワー浴の日で日積算給湯使用量が極端に異なる住宅で、張り入浴の日に周期性や曜日依存性がない場合には、日積算給湯使用量の予測は難しいことがわかった。このような住宅においては、蓄熱式の給湯システムではなく、需要に応じて逐次に湯を沸かす給湯システムの導入が必要と考えられる。その他の住宅においては、自己回帰モデルにより予測できることを確認した。

先行研究のアンケート結果において、冬期の入浴の目的として“保温のため”が多くあげられるのに対して、札幌のような全室暖房を行っている寒冷地では“保温のため”との回答は少ないことが示されている。

第5章ではその点に着目し、居住者の滞在時間が長い居間における温熱環境を改善することにより、給湯温度を下げて給湯消費量を削減する可能性に注目し、室内温熱環境及び給湯温度の相関性の観点より第3章の測定結果を再検討した。その結果、居住者の滞在時間の長い暖房室であるリビングの室温が適切な（低くない）住宅では、冬期における給湯温度を夏期に較べて高くしなくても満足感が得られることが分かった。

従って、断熱・気密の強化や全室暖房などにより室内温熱環境を向上させることで、給湯温度を制御できる（例えば、42℃ 入浴のところを、夏期と同じ39℃ 程度の給湯温度で入浴するなど）可能性があるといえる。

本論文に関する発表

[査読論文]

1. Hisashi Miura, Shuichi Hokoi and Shuhei Kondo: Development of Simple Commissioning Tools for Floor Heating Systems in Residence -Performance Evaluation of Floor Heating Systems-, Journal of Asian Architecture and Building Engineering, Vol.3 No.1, pp.93-100, May.2004
2. Luis Lopes, Shuichi Hokoi, Hisashi Miura and Kondo Shuhei: Energy efficiency and energy savings in Japanese residential buildings -research methodology and surveyed results, Energy and Buildings, 37, pp.698-706, 2005
3. 近藤修平, 鉾井修一: 住宅の給湯配管における熱損失に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, (投稿中)

[国際会議]

1. Shuhei KONDO and Shuichi HOKOI: Characteristics of energy consumption of residential buildings in Knasai region, The 6th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation & Energy Conservation in Buildings, 2007
2. Shuhei KONDO and Shuichi HOKOI: Relationship between domestic hot water consumption and indoor thermal environment in Japan, The 7th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation & Energy Conservation in Buildings, 2010

[一般発表]

1. 近藤修平, 鉾井修一: 住宅における給湯負荷のモデル化について, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸), D-2, pp.321-322, 2010.9
2. 近藤修平 鉾井修一: 住宅における給湯負荷のモデル化について, 日本建築学会近畿支部研究報告集 (環境系), pp.253-257, 2010.5
3. 近藤修平, 鉾井修一, 麻柄翔太郎: 住宅内温熱環境の改善によるトータルエネルギー消費の削減について, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東北), D-2, pp.135-136, 2009.8
4. 近藤修平 鉾井修一, 麻柄翔太郎: 住宅内温熱環境の改善によるトータルエネルギー消費の削減について, 日本建築学会近畿支部研究報告集 (環境系), pp.269-272, 2009.5

5. 麻柄翔太郎, 近藤修平, 鉾井修一:住宅におけるエネルギー使用のパターン解析 (その 1), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), D-2, pp.157-158, 2008.8
6. 近藤修平, 麻柄翔太郎, 鉾井修一:住宅におけるエネルギー使用のパターン解析 (その 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), D-2, pp.159-160, 2008.8
7. 麻柄翔太郎, 近藤修平, 鉾井修一:住宅におけるエネルギー使用のパターン解析 (その 1), 日本建築学会近畿支部研究報告集 (環境系), pp.117-120, 2008.5
8. 近藤修平, 麻柄翔太郎, 鉾井修一:住宅におけるエネルギー使用のパターン解析 (その 2), 日本建築学会近畿支部研究報告集 (環境系), pp.121-124, 2008.5
9. 近藤修平, 鉾井修一:電力消費量データに基づく分散電源導入シミュレーションについて (第一報), 第 24 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, pp.75-78, 2008.1
10. 近藤修平, 鉾井修一:住宅における電気・熱需要の測定, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州), D-2, pp.1251-1252, 2007.7
11. 近藤修平, 鉾井修一:住宅における電気・熱使用パターン解析, 日本建築学会近畿支部研究報告集 (環境系), pp.213-216, 2007.5
12. 近藤修平, 鉾井修一:関西地区におけるエネルギー多消費家庭の構造分析, 第 23 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, pp.227-230, 2007.1
13. 近藤修平, 鉾井修一:関西地区の住宅における電気・熱需要の測定 (第 4 報), 電気学会電力・エネルギー部門大会, No13, pp.21-pp.22, 2006.9
14. 近藤修平, 鉾井修一:関西地区の住宅における電気・熱需要の測定 (第 3 報), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), D-2, pp.207-208, 2006.7
15. 近藤修平, 鉾井修一:関西地区の住宅における電気・熱需要の測定 (第 3 報), 日本建築学会近畿支部研究報告集 (環境系), pp.361-364, 2006.5
16. 近藤修平, 向井一将, 鉾井修一:関西地区の住宅における電気・熱需要の測定 (その 2), 第 22 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, pp.403-404, 2006.1
17. 近藤修平, 向井一将, 鉾井修一:関西地区の住宅における電気・熱需要の測定について, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿), D-2, pp.339-340, 2005.7
18. 近藤修平, 向井一将, 鉾井修一:住宅における電気・熱需要の測定, 第 24 回研究発表会講演論文集, エネルギー・資源学会, pp.211-212, 2005.6
19. 近藤修平, 向井一将, 鉾井修一:関西地区の住宅における電気・熱需要の測定 (第一報), 日本建築学会近畿支部研究報告集 (環境系), pp.145-148, 2005.5

20. 近藤修平, 銚井修一, 三浦尚志:実負荷条件に基づく燃料電池運転評価研究, 第 21 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, pp.289-292, 2005.1
21. 三浦尚志, 銚井修一, 岩前篤, 梅野徹也, 近藤修平:ルームエアコンディショナの実性能の現場簡易測定, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北海道), D-2, pp.43-44, 2004.7
22. 近藤修平, 銚井修一, 三浦尚志:実負荷条件に基づく燃料電池運転評価研究 (その 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北海道), D-2, pp.175-176, 2004.7
23. 近藤修平, 銚井修一, 三浦尚志:関西地区における住宅のエネルギー消費に関する調査研究 (その 2), 第 23 回研究発表会講演論文集, エネルギー・資源学会, pp.183-184, 2004.6
24. 近藤修平, 銚井修一, 三浦尚志:実負荷条件に基づく燃料電池運転評価研究 (その 1), 日本建築学会近畿支部研究報告集 (環境系), pp.385-388, 2004.5
25. 三浦尚志, 銚井修一, 岩前篤, 梅野徹也, 近藤修平:ルームエアコンディショナの実性能の現場簡易測定, 日本建築学会近畿支部研究報告集 (環境系), pp.225-228, 2004.5
26. ロペス・ルイス, 銚井修一, 三浦尚志, 近藤修平, 岩前篤:冷蔵庫の設置状況や使い方がエネルギー消費に与える影響について, 第 20 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, pp.567-570, 2004.1
27. 近藤修平, 銚井修一, ロペス・ルイス, 三浦尚志, 岩前篤:関西地区における住宅のエネルギー消費に関する研究 (その 1), 第 20 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, pp.379-382, 2004.1
28. ロペス・ルイス, 銚井修一, 三浦尚志, 近藤修平, 岩前篤:関西地区における住宅のエネルギー消費に関する調査研究:エネルギー消費パターン, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海), D-2, pp.1277-1278, 2003.7
29. 近藤修平, 銚井修一, ロペス・ルイス, 三浦尚志, 岩前篤:関西地区における住宅のエネルギー消費に関する調査研究:エネルギー消費とライフスタイル, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海), D-2, pp.1279-1280, 2003.7
30. 三浦尚志, 銚井修一, 近藤修平:戸建て住宅における床暖房の性能検証, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海), D-2, pp.199-200, 2003.7
31. 近藤修平, 銚井修一, ロペス・ルイス, 三浦尚志, 岩前篤:関西地区における住宅のエネルギー消費に関する調査研究:その 1 エネルギー消費とライフスタイル, 日本建築学会近畿支部研究報告集 (環境系), pp.253-256, 2003.5
32. ロペス・ルイス, 銚井修一, 三浦尚志, 近藤修平, 岩前篤:関西地区における住宅のエネルギー消費に関する調査研究:その 2 エネルギー消費パターン, 日本建築学会近畿支部研究報告集 (環境系), pp.257-260, 2003.5

33. 三浦尚志, 鉾井修一, 近藤修平:戸建て住宅における床暖房の性能検証, 日本建築学会近畿支部研究報告集 (環境系), pp.353-356, 2003.5

謝辞

本研究を行うにあたり、多くの方々のご指導ご協力を賜り、ここに博士論文としてまとめることができました。この博士課程在学を含む8年間の長い間、私の研究に関わった全ての方々に深く感謝の意を表します。

京都大学大学院工学研究科 銚井修一教授には、2002年から始まった住宅におけるエネルギー消費実態調査研究をきっかけにして、建築学の世界にお誘いいただき、貴重な経験を積ませて頂きました。ご多忙にも関わらず、データ解析手法、研究の進め方、査読論文指導、本論文の内容・構成にも惜しみないご指導を頂きました。厚く御礼申し上げます。

京都大学大学院工学研究科 高橋大次教授には、ドクターゼミの際ご指導を頂きました。また、本論文をまとめるにあたり、懇切なご指導、ご助言を頂きました。厚く御礼申し上げます。

京都大学大学院工学研究科 原田和典教授には、ドクターゼミの際貴重なコメントを頂きました。また、本論文をまとめるにあたり、懇切なご指導、ご助言も頂きました。厚く御礼申し上げます。

京都大学大学院工学研究科 小椋大輔准教授には、研究に対するサポートを頂きました。厚く御礼申し上げます。

京都大学大学院工学研究科 木内隆子技官には、社会人コースの学生としてさまざまな事務をはじめ、研究室での生活を幅広くサポートして頂きました。厚く御礼申し上げます。

第2章の研究には、旧銚井・原田研究室に当時在籍したルイス・ロペス氏、三浦尚志氏に多大な協力を頂きました。第3章、第4章及び第5章の研究には同じく、旧銚井・原田研究室に当時在籍した向井一将氏、麻柄翔太郎氏に多大な協力を頂きました。厚く御礼申し上げます。

第2章の研究において、関東地区の測定データを東京理科大学・井上隆教授より、九州地区の測定データは京都府立大学・尾崎明仁教授より快く提供して頂きました。ここに厚く御礼申し上げます。

博士後期課程在学中には、株式会社積水ハウス・梅野徹也氏、株式会社浅沼組・恩村定幸氏、李永輝氏をはじめ、同じ時期に博士課程在籍していた方々には、ゼミ発表後のレポート課題の際たくさんの質問をいただき、ありがとうございました。

銚井・原田研究室のOB・OG、在学生の方々には、いろいろお世話になりました。厚く御礼申し上げます。

関西電力株式会社 研究開発室 エネルギー利用技術研究所 所長・西川徳裕氏をはじめ、関西電力株式会社 エネルギー利用技術研究所 商品評価研究室 主幹・尾上晴紀氏、GL・三村英二氏には多大なご協力と励ましを頂きました。厚く御礼申し上げます。

最後に、私事ではございますが、私の博士課程への進学を応援してくれた両親、博士課程進学後の多大な家庭への負担を許してくれた妻みどり、長男弘章、次男史理に感謝します。